

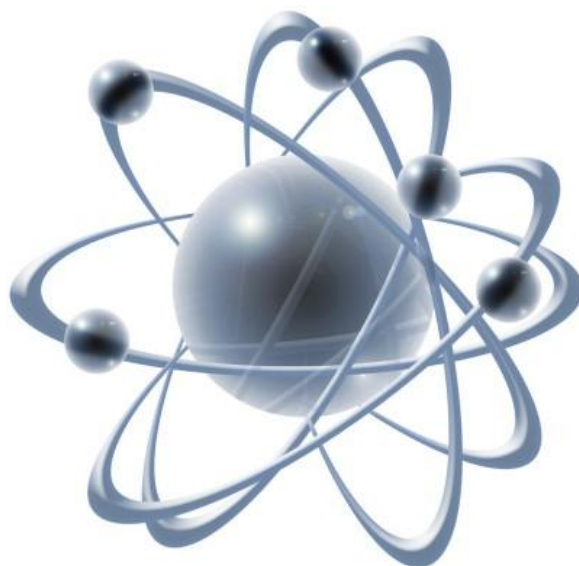
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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
заочной студенческой научно-практической конференции
26 мая 2021 года*



Севастополь
2021

УДК 621.31(063)+504.06(063)
ББК 20.1
С568

Редакционная коллегия:

А.М. Акимов – д.т.н., профессор

С.А. Качур – д.т.н., доцент

Б.А. Якимович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ВИЭЭСС

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

К.Б. Матузаев – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЯППУ

С.Т. Мирошниченко – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ПТУиВМ

Е.А. Магдыч – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ХТАС

С 568 Современные проблемы энергетики и экологии: материалы докладов и сообщений заочной студенческой научно-практической конференции 26 мая 2021 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: Изд-во СевГУ, 2021. – 244 с.: ил. – Текст: электронный.

Представлены материалы докладов и сообщений студенческой научно-практической конференции научного студенческого общества Института ядерной энергии и промышленности, которая состоялась в мае 2021 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
Использование в конструкции тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР перемешивающих решеток и их влияние на гидродинамические процессы в активной зоне реактора	7
А.Д. Тимофеев, В.В. Шаповаленко	7
РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ - БУДУЩЕЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	11
И.А.Дюдяев, В.В.Майорова, В.В.Шаповаленко	11
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС С ВВЭР-1000 ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛОТЫ ИЗ-ПОД ГЕРМОБОЛОЧКИ.....	19
Д.С. Менюк, А.И. Карпенко, А.А. Горбенко.....	19
ДИАГНОСТИКА НАРУШЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР	28
Качур С.А., Дюло В.Д.....	28
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	36
Анализ основных схем ветряных турбин с горизонтальной осью вращения ротора	37
И.В.Симонов, С.Г.Ерофеев.....	37
Моделирование работы электрогенератора ВЭУ	42
И.В.Симонов.....	42
Фотоэлектрическая установка с контроллером	52
Кувшинов В.В.,Симонов И.В, Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д.	52
Перспективы развития альтернативной энергетики на территории Республики Крым и города Севастополь .60	
Кувшинов В.В., Симонов И.В., Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д.	60
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СЕВАСТОПОЛЬ.....	67
И.С. Ивантеев , Н.М. Шайтор , В.В. Кувшинов.....	67
Развитие солнечной энергетики для республики крым и города севастополя	76
И.С. Ивантеев, М.А. Фисина, Р.Д. Хайбуллин	76
Анализ повышения эффективности использования аккумуляторных батарей для электромобилей	82
С.Г. Ерофеев, И.В. Симонов.	82
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	89
АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНА.....	90
А.А. Скориков, Л.И.Лукина	90

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ПРОИЗВОДСТВА ВИНА НА ЗАВОДЕ «УСАДЬБА ПЕРОВСКИХ»	96
Д.С. Вишнякова, Л.И. Лукина	96
ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	102
М.Д. Фомкина, Л.И. Лукина	102
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОПОРОШКА К ИОНАМ тяжелых металлов В ДИНАМИЧЕСКОМ И СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ СОРБЦИИ	111
Е.М. Савенко, Т.А. Юркова, Е.А. Магдыч	111
ЛИВНЕВЫЕ СТОКИ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БАЛАКЛАВА)	114
А.М. Акимов, Е.М. Савенко	114
Засуха и опустынивание в Крыму как проявление глобального изменения климата	120
В.И. Самородова, А.Х. Дегтерев	120
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ.....	124
СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....	125
Шайтор Н.М., Санников К.К., Велиляев А.С.	125
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА УПРАВЛЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЕМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОСЕТИ 220В, 50Гц.....	132
Ю.М. Быковский, Н.А. Ситников, И.М. Московкина	132
Анализ работы одноканального цифрового usb-осциллографа с коммутатором П323	139
Ю.М. Быковский, Б.А. Абдураманов, Д.Г. Кучма	139
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ МАТЛАВ R2007B	146
С.А. Слива, Т.Е. Петула, Н.В. Шахова.....	146
Применение программно-логических контролеров в локальных системах управления	154
Д.С.Ильчук, Т.Г.Зацаринная, Н.В. Шахова.	154
Влияние высоковольтных линий электропередач на линии связи.	159
В.А.Кирченков, Е.Г. Малюк.....	159
СРАВНЕНИЕ КРИОГЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ С КЛАССИЧЕСКИМИ АНАЛОГАМИ	165
И.А. Кочетов	165
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАДЁЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	172
С.В. Либов, О.Н. Титаренко, Б.А. Якимович	172
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КАК ЭЛЕМЕНТА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	179
И.В. Котляр, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко	179
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	186
А.А. Калмусова, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко	186

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ	193
Е.А.Набоков, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв	193
УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ УЗЛОВ НАГРУЗКИ	201
А.А. Романченко, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв	201
ПОИСК ПОВРЕЖДЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 кВ	209
Д.В.Сулим, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв	209
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	220
Д.А. Гринченко, А.А. Колтырин	220
Перспективы развития накопительных устройств и потенциал продвижения рынка систем накопления электроэнергии в России.	225
А.А. Колтырин, Д.А. Гринченко	225
Исследование тепловых характеристик нихромовой нити для расчета нагрузочного стенда Магнетрона	231
В.С. Исеев, А.В. Темиров	231
Применение интеллектуального электрооборудования для экономии электроэнергии в доме	238
Д.М. Мусаев, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко	238

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ РЕАКТОРА ВВЭР ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ РЕШЕТОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА

А.Д. Тимофеев, В.В. Шаповаленко

Введение

Один из способов повышения теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора типа ВВЭР является использование перемешивающих решеток в конструкции тепловыделяющих сборках (ТВС). Данный способ позволяет повысить значение критического теплового потока, а, следовательно, и тепловую мощность ядерного реактора при сохранении достаточного запаса до кризиса теплоотдачи.

Конструкция перемешивающих решеток позволяет дополнительно турбулизовать поток теплоносителя, и тем самым выравнять температуру теплоносителя по радиусу ТВС и создать равные условия охлаждения тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ). Таким образом, перемешивающие решетки обеспечивают безопасную эксплуатацию ядерного реактора, не допуская нарушения теплоотвода от ТВЭЛОВ.

Постановка цели и задачи

Задачами работы является исследование влияния применения различных видов перемешивающих решеток на гидравлическое сопротивление активной зоны ВВЭР с целью определения наиболее эффективного их применения с точки зрения потерь давления на участках контура.

Влияние на гидродинамические процессы в активной зоне применения перемешивающих решеток в составе конструкции ТВС

Рассмотрим два вида перемешивающих решеток: сотовая дистанционирующая решетка-интенсификатор (СДРИ) и унифицированная дистанционирующая решетка-интенсификатор (УДРИ). Каждая из них обеспечивает повышение теплосъема с поверхности оболочки ТВЭЛ за счет дополнительной турбулизации потока теплоносителя. Кроме того, решетки СДРИ и УДРИ обладают ещё одной функцией – дистанционирование ТВЭЛОВ. Поэтому эти решетки-интенсификаторы могут устанавливаться вместо дистанционирующих решеток, выполняя функцию как дистанционирования ТВЭЛОВ, так и интенсификацию потока. Перемешивающие решетки располагаются в верхней части ТВС, то есть на самом ее энергонапряженном участке, где температуры нагрева оболочки тепловыделяющего элемента достигают максимальных значений.

Гидравлическое сопротивление решеток в значительной мере определяется их конструкцией. Потери давления от местных сопротивлений рассчитываются по следующей формуле [1]:

$$\Delta p_m = \zeta_m \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \text{ Па},$$

где ω – средняя скорость движения теплоносителя в ТВС, м/с;

ρ – средняя плотность теплоносителя в ТВС, м³/кг;

ζ_m – коэффициент местного сопротивления ТВС.

В общем случае коэффициент местного сопротивления ТВС можно представить как сумму коэффициентов сопротивлений на входе, выходе ТВС и от каждой решетки

$$\zeta_m = \zeta_{вх} + \zeta_{вых} + \sum \zeta_{др} + \sum \zeta_{ри},$$

где $\zeta_{вх}$ – коэффициент местных сопротивлений на входе в ТВС,

$\zeta_{вых}$ – коэффициент местных сопротивлений на выходе из ТВС,

$\zeta_{др}$ – коэффициент местных сопротивлений дистанционирующей решетки,

$\zeta_{ри}$ – коэффициент местных сопротивлений перемещающей решетки (решетки-интенсификатора).

Коэффициент местного сопротивления либо рассчитывается по эмпирическим зависимостям, либо принимается на основании экспериментальных данных.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов местного сопротивления решеток различных модификаций, полученные в результате проведенных экспериментов в Курчатовском институте.

Таблица 1 – Коэффициент местных сопротивлений

$\zeta_{вх}$	$\zeta_{вых}$	$\zeta_{др}$	$\zeta_{сдпр}$	$\zeta_{удри}$
0,8	0,8	0,36	1,05	0,52

В расчете приняты следующие исходные данные:

$t_{тн}^{вх} = 295 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура теплоносителя на входе в ядерный реактор,

$t_{тн}^{вых} = 325 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура теплоносителя на выходе из ядерного реактора,

$P_{тн} = 15,6 \text{ МПа}$ – давление теплоносителя в первом контуре.

Расчет выполнен при средних значениях температуры теплоносителя в ядре потока и заданном давлении в первом контуре, с помощью таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара [2]

$$\rho(t_{тн}^{ср} = 310 \text{ }^{\circ}\text{C}, P_{тн} = 15,6 \text{ МПа}) = 705,03 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Максимальная скорость теплоносителя в ТВС активной зоны ядерного реактора типа ВВЭР не должна превышать 6 м/с. Это ограничение связано с рядом факторов.

Во-первых, при увеличении скорости движения теплоносителя возрастают в квадрате потери давления, а также возрастает расход теплоносителя, что приводит к увеличению мощности ГЦН.

Во-вторых, с ростом скорости движения теплоносителя увеличивается эрозийный износ оболочки твэл. В-третьих, увеличивается вибрация твэлов, которая может привести к их разрушению.

Поэтому в расчет величина скорости теплоносителя принята $\omega = 6$ м/с.

В первом варианте исследования рассматривается тепловыделяющая сборка решетка с перемешивающей решеткой типа СДРИ. Всего в тепловыделяющей сборке используется 10 решеток: 7 дистанционирующих решеток и 3 перемешивающих решетки типа СДРИ, расположенных в верхней части ТВС. Такая схема расположения решеток СДРИ обусловлена тем, что решетка обеспечивает двойную функцию интенсификацию потока и дистанционирование твэлов.

Таким образом, коэффициент местного сопротивления ТВС с решетками СДРИ:

$$\zeta_m = \zeta_{вх} + \zeta_{вых} + \sum \zeta_{др} + \sum \zeta_{сдпр} = 0,8 + 0,8 + 7 \cdot 0,36 + 3 \cdot 1,05 = 7,24.$$

Гидравлическое сопротивление от местных сопротивлений:

$$\Delta p_m = \zeta_m \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 7,24 \cdot \frac{705,03 \cdot 6^2}{2} = 91879 \text{ Па}.$$

Во втором варианте исследования рассматривается влияние решетки УДРИ на гидравлические сопротивления. В этом случае, расположение и количество решеток аналогично первому варианту исследования.

Коэффициент местных сопротивлений ТВС при использовании решеток типа УДРИ:

$$\zeta_m = \zeta_{вх} + \zeta_{вых} + \sum \zeta_{др} + \sum \zeta_{удри} = 0,8 + 0,8 + 7 \cdot 0,36 + 3 \cdot 0,52 = 5,68.$$

Гидравлическое сопротивление от местных сопротивлений:

$$\Delta p_m = \zeta_m \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 5,68 \cdot \frac{705,03 \cdot 6^2}{2} = 72082 \text{ Па}.$$

Результаты влияния различных типов перемешивающих решеток на гидравлическое сопротивление приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета гидравлических сопротивлений

Тип перемешивающей решетки	$\zeta_{ри}$	ζ_m	Δp_m , Па
СДПР	1,05	7,24	91879
УДРИ	0,52	5,68	72082

Выводы

Из расчета видно, что наименьшими потерями давления от местных сопротивлений обладает та ТВС, в составе которой используется перемешивающая решетка типа УДРИ. Применение в составе ТВС решеток типа УДРИ позволяет: снизить полные потери давления от тепловыделяющей сборки, обеспечить эффективное охлаждение всех тепловыделяющих элементов и достаточную их фиксация по высоте тепловыделяющей сборки. Кроме того, с точки зрения интенсификации теплообмена УДРИ также является наиболее эффективной, так как для такой решетки коэффициент неравномерности тепловыделений по радиусу активной зоны меньше, чем для других типов решеток.

Список использованных источников

1. Шаповаленко В.В. Теплогидравлический расчет ядерных реакторов./ Севастополь: Издательство СевГУ, 2019.
2. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара./ Москва Энергоатомиздат 1984
3. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / П.Л.Кириллов, А.В.Жуков, Н.И.Логинов, В.М.Махин/ М.:ИздАт, 2013.

РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ - БУДУЩЕЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

И.А.Дюдяев, В.В.Майорова, В.В.Шаповаленко

Атомная энергетика России имеет большой научно-технический потенциал и на мировом рынке является одной из самых конкурентных отраслей промышленности. Это связано с тем, что в отрасли осуществляются новые перспективные инновационные разработки, которые отвечают современным международным требованиям по надежности и безопасности. В статье дано обоснование целесообразности строительства реакторов на быстрых нейтронах. Приведены результаты анализа привлекательности топливных композиций для быстрых реакторов по их основным нейтронно-физическим характеристикам.

Введение

Развитие атомной энергетики - объективная необходимость. Россия занимает передовые позиции в развитии реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Имеется опыт эксплуатации энергоблоков с натриевым теплоносителем на Белоярской АЭС, реакторов со свинцово-висмутовым теплоносителем на судовых энергетических установках, опыт проектирования энергетических установок с другими жидкометаллическими теплоносителями, такими как калий, литий. Разрабатываются новые проекты. В 2019 году выдана Ростехнадзором лицензия на строительство реактора БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем. К 2030 году планируется построить реактор БН-1200.

Цель работы

Целью данной работы является анализ областей применения реакторов на быстрых нейтронах для решения глобальных проблем в ядерной энергетике.

Важность развития технологии проектов реакторов на быстрых нейтронах и их реализация

В коммерческих проектах реакторов на быстрых нейтронах в качестве теплоносителя используют жидкие металлы, в основном натрий, так как он обладает наилучшей теплопроводностью среди металлов пригодных для эксплуатации в реакторных установках.

Проектирование реакторов на быстрых нейтронах велось во многих странах.

В 50-х годах прошлого века возникли экспериментальные реакторы на быстрых нейтронах, и уже в 60-80-х годах стремительно шла работа по их созданию в промышленных целях в США, СССР и в некоторых странах Европы. К началу 90-х годов большая часть этих проектов была закрыта в связи с высокими аварийными рисками и большими эксплуатационными затратами.

2009 год стал завершающим в долгой карьере французского быстрого натриевого реактора «Феникс» (Phenix). И теперь единственной страной в мире, имеющей действующие

быстрые энергетические реакторы является Россия! Примером тому является БН-600, который успешно работает с 1980 года и БН-800, введенный в эксплуатацию в 2016 году. Успешный опыт эксплуатации быстрых реакторов в России и перспективы его использования дают этой технологии вторую жизнь. Большой интерес к строительству реакторов на быстрых нейтронах демонстрируют Индия, Япония, Китай, Южная Корея. Значительных успехов достигла Индия, в её планах значится строительство демонстрационного быстрого натриевого реактора PBFR-500 электрической мощностью 500 МВт.

Не взирая на дороговизну строительства и эксплуатацию реакторов на быстрых нейтронах, конструирование и строительство их обоснованно, так как реакторы на быстрых нейтронах позволяют нарабатывать вторичное ядерное топливо, а не только его расходовать, сократить объем накопления отработавшего ядерного топлива за счет использования в составе активной зоны регенерированного ядерного топлива, уменьшить добычу природного урана и сберечь природные ресурсы. К тому же реактор на быстрых нейтронах является безопасным в эксплуатации, что подтверждается длительным периодом его безаварийной эксплуатации.

Для более эффективного использования природных ресурсов необходимо создать замкнутый ядерный топливный цикл, в котором отработавшее ядерное топливо, выгруженное из реактора, перерабатывается с целью создания нового ядерного топлива и повторного его использования в ядерных энергетических установках.

В сентябре 2016 года российскими атомщиками с успехом был протестирован на полной мощности новый и самый мощный в мире энергетический блок с реактором на быстрых нейтронах — БН-800 Белоярской АЭС. А годом ранее запущено производство мокс-топлива, что позволило России занять лидирующие позиции в переходе на замкнутый цикл эксплуатации ядерного топлива.

За период эксплуатации АЭС, а их в России более 38 энергоблоков, накопилось достаточно большое количество отработанного ядерного топлива, объемы которого с каждым годом только увеличиваются. При сегодняшних масштабах запасов отработавшего ядерного топлива и наличия отвалного ^{238}U хватит на несколько сот лет, чтобы обеспечить ядерным регенерированным топливом не только реакторы, работающие на быстрых нейтронах, но и реакторы, работающие на тепловом спектре нейтронов.

На базе быстрых реакторов возможно реализовать не только выработку электроэнергии, но и опреснение морской воды. Примером такой установки является БН-350, расположенный в Казахстане.

Кроме того, реактор БН-800 является площадкой для отработки конструкции тепловыделяющего элемента с разным видом ядерного топлива, а именно, твэла с уран-плутониевым топливом для реакторов БН, твэла с нитридным топливом и уран-нитридным топливом для реакторов со свинцовым теплоносителем, тепловыделяющих элементов в состав ядерного топлива, которых включены минорные актиниды. Применяв замкнутый топливный цикл с выжиганием минорных актиноидов и трансмутацией долгоживущих продуктов деления в короткоживущие, можно радикально решить проблему накопления отходов атомной энергетики и многократно уменьшить объем радиоактивных отходов, подлежащих захоронению.

Также БН-800 является площадкой для отработки новых видов сплавов для оболочек тепловыделяющего элемента и оптимизации конструкции ТВС для реакторов, работающих на быстром спектре нейтронов.

Перспективное ядерное топливо быстрых реакторов

На основании результатов исследований [1], [3] был обобщен материал по характеристикам ядерного топлива. Рассмотрены достоинства и недостатки ядерного топлива. Проанализированы следующие топливные композиции: двуокись урана (UO_2), нитрид урана (UN), смешанное оксидное уран-плутониевое топливо $(\text{U}+\text{Pu})\text{O}_2$, смешанное нитридное уран-плутониевое топливо $(\text{U}+\text{Pu})\text{N}$ сокращенно СНУП-топливо.

Двуокись урана UO_2 получила наибольшее распространение в качестве технологичного и безопасного вида топлива. Диоксид урана имеет хорошую совместимость со многими конструкционными материалами вплоть до высоких температур, химически устойчив к веществам, применяющимся в качестве замедлителя и теплоносителя (вода, водяной пар, углекислый газ, жидкие металлы и др.) в широком диапазоне температур. По сравнению с металлическим топливом UO_2 имеет более пористую структуру, в меньшей степени подвержен газовому распуханию и в интервале рабочих температур ЯЭУ не имеет фазовых переходов. Основными достоинствами являются высокая температура плавления 2880°C , хорошая радиационная стойкость и, конечно же, способность при высоких температурах до 1800°C удерживать в топливной таблетке газообразные продукты деления. Недостатком диоксида урана, связанным с пористостью, является низкая теплопроводность. Она снижается с увеличением температуры топлива, что в последствии приводит к значительным перепадам температур между центром и поверхностью топливной таблетки, а это, в свою очередь, влечет за собой растрескивание топливной таблетки и деформацию тепловыделяющего элемента.

Смешанное оксидное уран-плутониевое топливо $(\text{U}+\text{Pu})\text{O}_2$. Данное топливо еще называют МОХ-топливом, рассматривается во всех странах как основа развития быстрых реакторов. МОХ-топливо обладает такими же свойствами и характеристиками материала, как и диоксид урана. Исследования, которые были проведены на реакторе БН-600 с частичной загрузкой МОХ-топлива, показали весьма неплохой результат с удовлетворительной механической и радиационной устойчивостью, а также химической совместимостью данного вида топлива с материалами оболочки и теплоносителя. Возможность достижения глубоких выгораний и наличие технологической промышленной базы для переработки оксидного топлива сыграли ключевую роль в пользу выбора МОХ-топлива для загрузки активной зоны реактора БН-800. Недостатками МОХ-топлива являются высокие радиационные характеристики, высокие остаточные тепловыделения, по сравнению с диоксидом урана.

Нитридное топливо, в данном случае рассматривается нитрид урана и нитрид плутония (UN , PuN), обладает теплопроводностью в 7 раз выше, а также и плотностью в 1,3 раза выше, чем у диоксида урана. Это говорит о том, что между центром и поверхностью топливной таблетки будет возникать меньший перепад температур. Другим достоинством нитридного топлива является хорошая химическая совместимость с оболочками твэлов из нержавеющей стали и с жидкометаллическими (Na , Pb , Pb-Bi) и газообразными теплоносителями (CO_2). Коэффициент воспроизводства, а также максимальная мощность ТВС у нитрида урана выше, чем у оксидного топлива (1,34-1,5 и 8,76 МВт у UN ; 1,2 и 8,4 МВт у UO_2). Основным недостатком нитридного топлива является образование экологически опасного ^{14}C . Также существенными недостатками являются высокая радиоактивность исходных материалов, что требует полной автоматизации производства, а технологическая цепочка изготовления топлива длиннее, чем при производстве ядерного топлива из диоксида урана.

Смешанное нитридное уран-плутониевое топливо $(\text{U}+\text{Pu})\text{N}$, сокращенно СНУП-топливо, состоит из смеси моонитрида обедненного урана с моонитридом плутония. Моонитрид урана/плутония в лабораторных условиях можно получить с помощью синтеза

из металлического урана/плутония или плавки металлов в азотной атмосфере, но для промышленного использования чаще всего применяется метод карботермического синтеза, который основан на восстановлении оксидов урана/плутония углеродом в атмосфере азота. СЛУП-топливо обладает следующими эксплуатационными преимуществами: высокая плотность и коэффициент воспроизводства на порядок выше, чем у диоксида урана, СЛУП-топливо имеет высокую теплопроводность, которая с увеличением температуры повышается, вследствие этого температура в центре сердечника твэла снижается. СЛУП-топливо обладает такой же хорошей совместимостью со стальными оболочками твэлов, как и оксидное топливо.

Однако существует и ряд недостатков, к ним относится скорость распухания смешанного уран-плутониевого нитрида, вследствие накопления твердых продуктов деления. При увеличении температуры в центре сердечника до 1300°C, скорость распухания смешанного уран-плутониевого нитрида составляет 1,6% на 1% выгорания. Необходимо отметить, что в СЛУП-топливе с участием ^{14}N протекают ядерные реакции $^{14}\text{N}(n, \alpha)$ и $^{14}\text{N}(n, p)$ с образованием гелия и водорода, что, в свою очередь, приводит к формированию большого количества пор. Эти поры при 1300—1400°C и выше увеличиваются в размере и соответственно приводят к распуханию топлива до 5% на 1% выгорания. В случае использования обогащенного азота ^{15}N , негативное влияние указанных реакций стало бы меньше. На распухание СЛУП-топлива сильное влияние оказывают изменение плотности и структуры сердечника. Так, при 1300°C выход газов из смешанного нитрида составляет не более 10%, но уже при небольшом увеличении температуры до 1320 °C выход газов повышается до 26% [3].

Увеличение эффективности работы реакторов на быстрых нейтронах требует прежде всего повышенного выгорания топлива. В планах обозначено достижение выгорания СЛУП-топлива 12%, из них достигнуто - 9%, проблема в достижении больших значений выгорания топлива состоит также в значительном его распухании и деформации твэла. Не решен вопрос окончательного выбора материала для оболочки твэла, на сегодняшний день ведутся активные исследования в области применения в качестве материала оболочки твэла дисперсно-упрочненных оксидами ферритно-мартенситных сталей.

Недостатком СЛУП-топлива является его усложненная технология производства, по сравнению с мох-топливом. Сложность производства (U+Pu)N заключается в том, что порошок нитрида при нагреве в вакууме или инертной среде до 1700—1800 °C плохо спекается, а с увеличением температуры частично разлагается с выделением металлической фазы. Кроме того, имеет существенно худшую текучесть и хуже прессуются. Топливные таблетки СЛУП-топлива являются хрупкими, что может привести к появлению сколов и дефектов при их транспортировке и заполнении тепловыделяющих элементов. Для снижения влияние этих явлений осуществляется микролегирование топливной композиции и изменение её геометрии путем нанесения на торцы топливной таблетки фасок.

Анализ нейтронно-физических характеристик проведен при сравнении критической массы (M), собственного нейтронного фона ($H\Phi$), радиоактивности (A) для ядерного топлива UO_2 , UN , $(\text{U}+\text{Pu})\text{O}_2$, $(\text{U}+\text{Pu})\text{N}$ (Табл.1).

Таблица 1. Нейтронно-физические характеристики UO_2 , UN, MOX-топлива, СНУП-топлива

Параметр	Свежая загрузка без отражателя	Выгрузка без отражателя
UO_2 (диоксид урана)		
$M_{кр}, кг$	1454	2356
$H\Phi, н/с$	$1,47 \cdot 10^4$	$2,13 \cdot 10^7$
$A, Ки$	0,85	$7,07 \cdot 10^7$
UN (нитрид урана)		
$M_{кр}, кг$	3246	3979
$H\Phi, н/с$	$3,35 \cdot 10^4$	$2,61 \cdot 10^7$
$A, Ки$	1,71	$1,04 \cdot 10^8$
$(U+Pu)O_2$ (мох-топливо)		
$M_{кр}, кг$	1118	1772
$H\Phi, н/с$	$1,08 \cdot 10^8$	$9,50 \cdot 10^9$
$A, Ки$	$1,38 \cdot 10^6$	$6,38 \cdot 10^7$
$(U+Pu)N$ (СНУП-топливо)		
$M_{кр}, кг$	2384	2815
$H\Phi, н/с$	$1,08 \cdot 10^8$	$1,01 \cdot 10^{10}$
$A, Ки$	$2,21 \cdot 10^6$	$8,96 \cdot 10^7$

Анализ данных результатов показывает, что наименьшую критическую массу имеет свежее МОХ-топливо, а наибольшую - свежее и облученное урановое нитридное топливо. В процессе облучения оксидного и нитридного топлива критическая масса в реакторе увеличивается из-за выгорания основных топливных изотопов, а также образования продуктов деления (Рис.1).

Из таблицы 1 видно, что критическая масса топлива без отражателя для нитридного топлива примерно вполнину больше, чем для оксидного, что объясняется плотностью нитридного топлива, которая выше уранового оксидного. Для МОХ и СНУП-топлива наблюдается почти та же закономерность. Общеизвестно, что величина критической массы для реактора с быстрым спектром нейтронов обратно пропорциональна квадрату плотности материала.

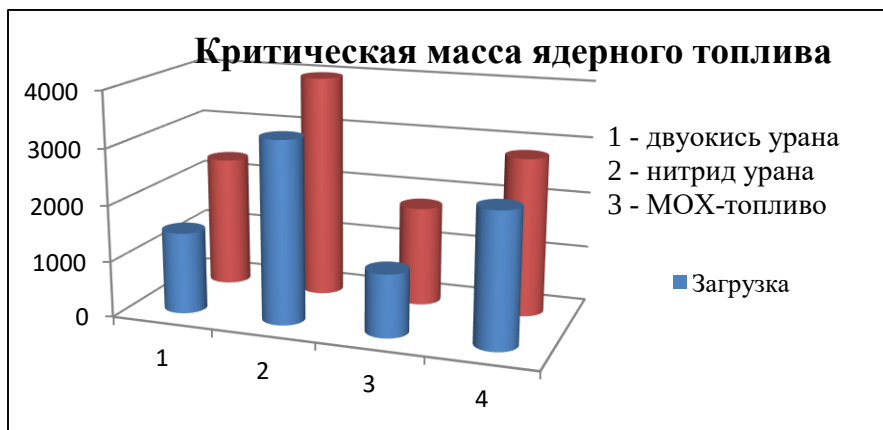


Рис. 1. Сравнительная диаграмма критической массы оксидного и нитридного топлива

Из рассмотренных видов ядерного топлива (диоксид урана, MOX-топливо, нитрид урана, СНУП-топливо) собственный нейтронный фон наибольший у MOX-топлива и СНУП-топлива это объясняется наличием четных изотопов плутония в составе ядерного топлива. Сравнительные диаграммы представлены на рис.2 и рис.3.

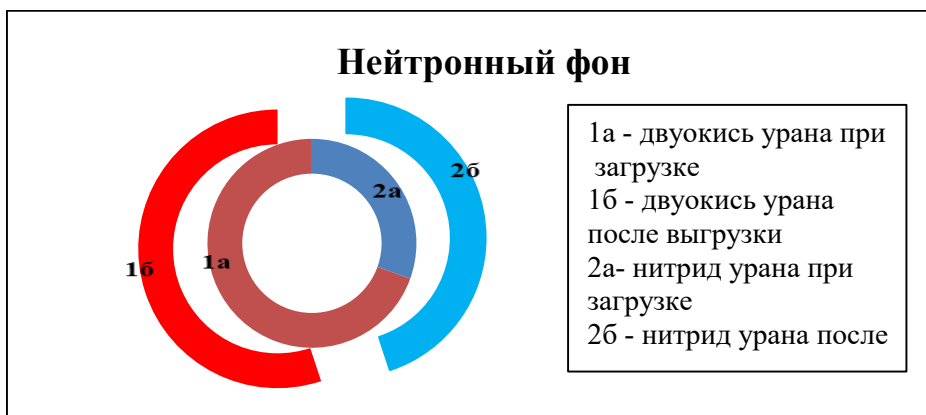


Рис. 2. Сравнительная диаграмма нейтронного фона ядерного топлива при загрузке и выгрузке диоксида урана и нитрида урана

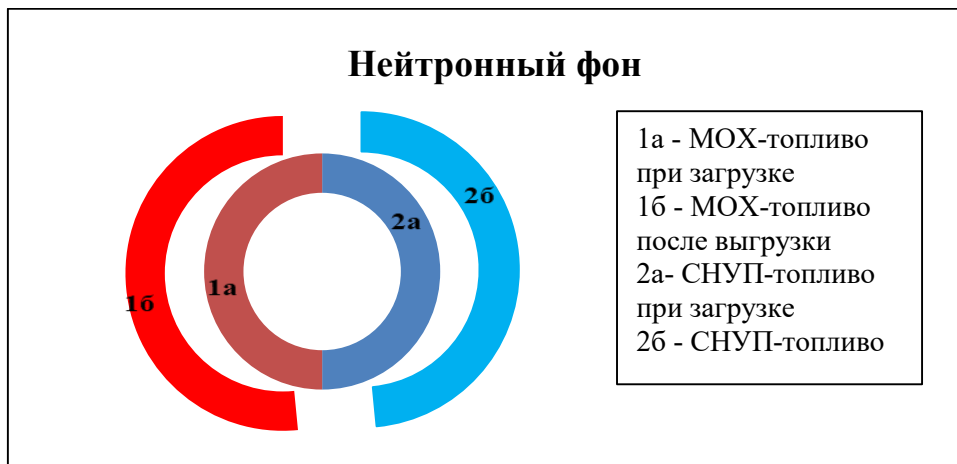


Рис. 3. Сравнительная диаграмма нейтронного фона ядерного топлива при загрузке и выгрузке MOX-топлива и СНУП-топлива

Если сравнивать между собой радиационный фон диоксида урана, МОХ-топлива, нитридного топлива, СНУП-топлива для свежего и облученного состояния, то следует отметить, что для необлученного диоксида урана и нитридного топлива активность низкая (UO_2 – 0,85 Ки, UN 1,71 Ки), по сравнению с МОХ-топливом и СНУП-топливом (МОХ-топлива – $1,38 \cdot 10^6$ Ки, СНУП-топливо $2,21 \cdot 10^6$ Ки), что требует организации дистанционного обращения на всех этапах производства и эксплуатации МОХ-топлива, СНУП-топлива. Наибольшую активность среди рассмотренных видов ядерного топлива имеет выгруженное нитридное топливо, его активность составляет $1,04 \cdot 10^8$ Ки, для СНУП-топлива $8,96 \cdot 10^7$ Ки, диоксид урана $7,07 \cdot 10^7$ Ки, МОХ-топлива $6,38 \cdot 10^7$ Ки. Сравнительная диаграмма радиоактивности ядерного топлива при загрузке и выгрузке представлена на рисунке 4.

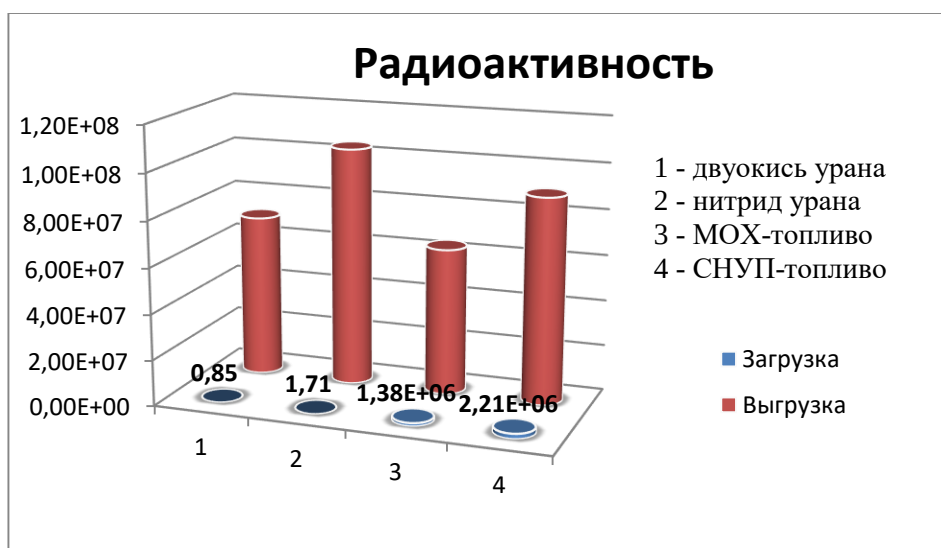


Рис. 4. Сравнительная диаграмма радиоактивности ядерного топлива при загрузке и выгрузке оксидного и нитридного топлива

На основании проведенного сравнительного анализа нейтронно-физических характеристик ядерного топлива диоксида урана, нитридного топлива, МОХ-топлива, СНУП-топлива можно отметить следующее.

На данном этапе мох-топливо является самым выгодным как с эксплуатационной, так и с экономической точки зрения ядерным топливом для реакторов на быстрых нейтронах, так как критическая загрузка топлива наименьшая среди рассмотренных видов ядерного топлива, а его применение в активных зонах реакторов на быстрых нейтронах позволяет сделать ядерный топливный цикл замкнутым. А замкнутый ядерный топливный цикл – это надежность энергообеспечения, минимизация количества радиоактивных отходов и снижение запасов отработанного ядерного топлива.

Вторым по привлекательности является нитридное топливо, которое после устранения недостатков его производства может рассматриваться как наиболее перспективное ядерное топливо, поскольку при его эксплуатации можно добиться большего коэффициента воспроизводства ядерного топлива, реализовать работу реактора на повышенной мощности за счет достижения низких значений максимальных температур в центре ядерного топлива по сравнению с диоксидом урана и МОХ-топливом. Высокий коэффициент воспроизводства, а также необходимая величина времени удвоения создают определенные предпосылки к замыканию ядерного топливного цикла при наличии хорошо отработанной технологии переработки нитридного топлива.

Выводы

Переход атомной энергетики с тепловых реакторов на быстрые реакторы, а также на замкнутый топливный цикл даст возможность создать надежную, а главное безопасную энергетическую технологию, которая в полной степени будет отвечать требованиям устойчивого развития человеческого общества.

Список использованных источников

1. Матвеев В.И., Хомяков Ю.С. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем М.: Издат. дом МЭИ, 2012
2. Кузнецов И.А., Поплавский В.М. «Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтронах».М.:ИздАт, 2012.-632с.
3. Решетников Ф.Г. Состояние разработки и производства уран-плутониевого топлива для быстрых реакторов Атомная энергия, Т.91 вып.6, 2001 с.453-458
4. Гусев С.С. Проблемы управления АЭС на современном этапе развития атомной отрасли // Интерактивная наука №4, 2017. - С. 108 - 110.
5. И.Я. Емельянов и др. Научно-технические основы управления ядерными реакторами: Учебное пособие для вузов/ И.Я. Емельянов, А.И. Ефанов, Л.В. Константинов; Под общей редакцией академика Н.А. Доллежала. - М.: Энергоатомиздат, 1981

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС С ВВЭР-1000 ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛОТЫ ИЗ-ПОД ГЕРМООБОЛОЧКИ

Д.С. Менюк, А.И. Карпенко, А.А. Горбенко

В статье представлены результаты расчетного моделирования системы пассивного теплоотвода при тяжелой аварии, вызванной полным обесточиванием АЭС. Проведена оценка эффективности системы пассивного теплоотвода гермообъема при развитии тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР. Расчеты проводились с использованием кода MELCOR 1.8.5.

Введение

Запроектная авария на АЭС – это авария, которая обуславливается не учтенными для проектных аварий исходными событиями или сопровождается более чем одним отказом систем безопасности. Последствиями такого типа аварий могут стать тяжелые повреждения ЯЭУ. Одной из наиболее опасных аварий данного типа является полное обесточивание АЭС в течении длительного времени при потере всех предусмотренных аварийных источников электроснабжения. Так, на АЭС «Фукусима-1», вследствие землетрясения с последующим цунами, произошло обесточивание всей площадки станции и отключение активных систем безопасности, что в свою очередь привело к нарушению процесса теплоотвода от тепловыделяющих сборок в активных зонах (блоки 1-3) и от отработавших тепловыделяющих сборок, расположенных в бассейнах выдержки (блок 4) ядерных реакторов, началу парациркониевой реакции, сопровождавшейся накоплением водорода в помещениях реакторных отделений с последующим его воспламенением.

На данный момент на действующих и проектируемых АЭС с реакторами типа ВВЭР эволюционных проектов (например, ВВЭР-1000/320) технические средства, которые при полном длительном обесточивании не допускают повреждение ОЯТ в БВ, не предусматриваются. Также отсутствует система, которая обеспечивала бы отвод тепла из-под гермооболочки, из-за чего при обесточивании возможно превышение параметров внутри ГО выше предельных и, как следствие, нарушение ее целостности. В связи с этим, на данный момент, стоит задача создания дополнительных систем безопасности, обеспечивающих в случае полного обесточивания АЭС пассивный отвод остаточных тепловыделений – СПОТ.

Цель работы

Целью данной работы является анализ возможного применения СПОТ ГО, в частности получение и изучение ее характеристик, компоновки, а также исследование эффективности и целесообразности ее внедрения на современных АЭС с реакторными установками типа ВВЭР-1000.

Краткая характеристика ГО энергоблока с ВВЭР-1000

Для АЭС с ВВЭР-1000 роль гермооболочки выполняет цилиндрическая конструкция с крышей-куполом, изготовленная из толстостенного напряженного железобетона. Для обеспечения требуемой плотности и допустимых протечек в окружающую среду (менее 0,3% в сутки при давлении 4 кгс/см² (изб)) внутренняя сторона гермооболочки облицована тонкостенной нержавеющей сталью. В зависимости от различных исполнений реакторных установок, внутренний объем гермооболочки для ВВЭР равен значениям 60-80 тыс. м³.

При полном длительном обесточивании АЭС происходит ряд негативных неконтролируемых процессов, одним из которых является увеличение количества водорода под гермооболочкой. Так как существует вероятность воспламенения или детонации накопившегося под ГО водорода, в современных ЯЭУ типа ВВЭР предусмотрена установка устройств, не требующих внешнего энергоснабжения – пассивных автокаталитических рекомбинаторов водорода (ПАР). В случае превышения пороговых значений концентрации водорода (около 2%), достаточных для начала реакции с кислородом, происходит автоматический запуск ПАР, в результате работы которой образуется перегретый водяной пар, поступающий в ГО.

Но система снижения количества водорода на основе ПАР имеет свои недостатки, поскольку является источником дополнительных энерговыделений, которые могут усилить рост давления и температуры во внутреннем пространстве гермооболочки. Также следует учесть тот факт, что в условиях, когда в ГО уже имеется высокая концентрация водяного пара, применение ПАР может оказаться неэффективным.

Кроме того, при запроектных и тяжёлых авариях с наложением полного длительного обесточивания станции система подавления параметров внутри ГО, а именно спринклерная, окажется полностью неработоспособной, так как основана на активном принципе действия, то есть требует для своей работы внешнего энергоснабжения.

Таким образом, предлагаемая СПОТ ГО должна выполнять функцию отвода теплоты из-под ГО в окружающую среду для сохранения цельности ГО в процессе запроектных и тяжелых аварий.

Схема, принцип работы и компоновка СПОТ ГО

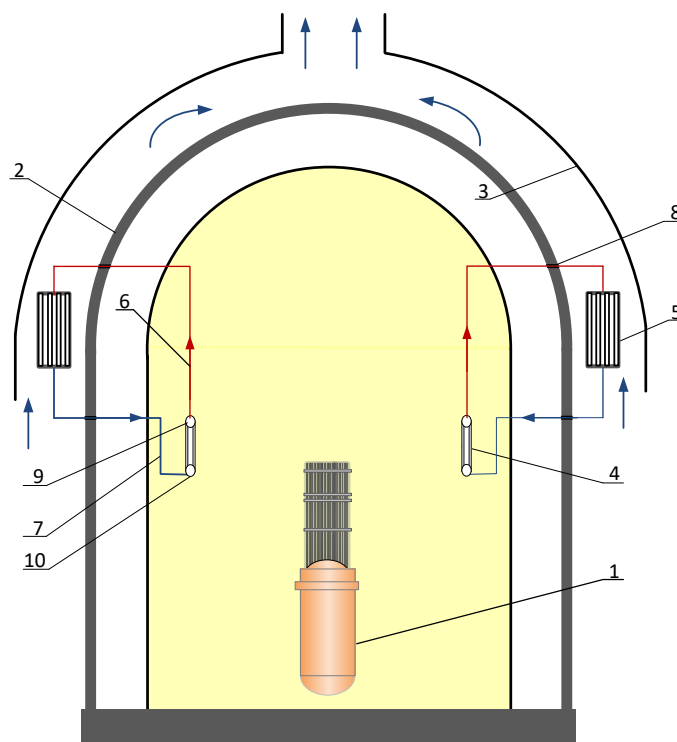
Для решения поставленных задач предлагается схема СПОТ ГО, в которой применяются замкнутые испарительно-конденсационные устройства – низкотемпературные кольцевые двухфазные термосифоны (ДТС). ДТС при помощи переноса скрытой теплоты парообразования промежуточного теплоносителя, осуществляют эффективный теплоперенос от среды внутри ГО к конечному поглотителю. Испаритель ДТС размещается в цилиндрической части ГО, в непосредственной близости к купольной части, конденсатор – за пределами гермообъема. Связь испарителя с конденсатором обусловлена двумя транспортными трубопроводами – паровым и конденсатным (рис. 1).

Процесс отвода теплоты от атмосферы ГО к внешней поверхности испарителей СПОТ, а от них к промежуточному теплоносителю ДТС, вследствие чего последний испаряется, происходит благодаря естественной конвекции.

Пар, проходя через сборный коллектор 9, поступает в паровой трубопровод 6, который через гермопроходки 8 выводится из гермооболочки 2 реактора 1 и соединяется с конденсаторами ДТС 5. Конденсаторы 5 охлаждаются потоком атмосферного воздуха 3, при этом пар в конденсаторах конденсируется и за счет гравитационных сил по конденсатному трубопроводу 7 и раздающим коллекторам 10 конденсат возвращается в испарители 4.

Трубы, из которых выполнены все элементы испарительной части кольцевого ДТС, расположены рядом с внутренней поверхностью ГО. Таким образом, испарители СПОТ практически не отбирают полезного объема ГО.

Расчет способности СПОТ ГО отводить теплоту происходит так, чтобы при всевозможных состояниях ЯЭУ, включая проектные аварии с разрывами трубопроводов первого контура и паропроводов острого пара при работе на мощности, не допустить достижения параметров в гермооболочке выше установленных проектом пределов. Так, например, для ГО РУ ВВЭР-1000 это давление не более 5 бар (абс.) и температура парогазовой смеси не выше 150°C, температура окружающего воздуха не более +40 °C (максимально возможная для площадки АЭС). ДТС, являясь замкнутой системой и одновременно барьером безопасности, надежно отделяет ГО от конечного поглотителя, так как является автономным замкнутым устройством теплоотвода, а также обеспечивает радиационную безопасность в аварийной ситуации. СПОТ ГО для повышения надежности эксплуатации состоит из автономных секций и контуров, скомпонованных в несколько параллельных каналов, для обеспечения необходимой степени резервирования.



1 – реакторная установка; 2 – защитная оболочка; 3 – воздушный канал;
4 – испаритель; 5 – конденсатор; 6 – паровой трубопровод; 7 – конденсатный трубопровод;
8 – гермопроходка; 9 – сборный коллектор; 10 – раздающий коллектор.

Рис. 1. Схема автономной СПОТ ГО на основе кольцевого ДТС

В кольцевом термосифоне, перед тем как осуществится процесс заполнения промежуточным теплоносителем, происходит создание вакуума, для того, чтобы обеспечить удаление газов, не подвергающихся конденсации, и одновременно испытать контур СПОТ ГО на герметичность.

Для всего периода работы устройства давление насыщенного водяного пара во всем установленном диапазоне температур, а также в любой из точек контура будет поддерживаться ниже давления атмосферы. Это необходимо для того, чтобы исключить

выход радионуклидов в окружающую среду из-под ГО в случаях протечек контура СПОТ. Так обнаружив течь, например, по наблюдениям изменений параметров вакуума в ДТС, при нормальных условиях эксплуатации обслуживающий персонал может обнаружить и своевременно перекрыть локализирующие арматуры поврежденной теплообменной секции или одного канала системы (на рис.1 условно показаны 2 независимых канала СПОТ). Для того, чтобы функции теплоотвода в системе выполнялись в полном объеме при проектировке поверхность теплообменных секций, была выбрана с избытком по отношению к максимальным значениям тепловой нагрузки под гермооболочкой.

В условиях низких температур окружающей среды возможно замерзание промежуточного теплоносителя. Поэтому, в случае необходимости, вместо воды можно использовать в качестве промежуточного теплоносителя жидкость, которая обладает меньшей температурой замерзания.

Чтобы оценить, как влияет наклон испарительных трубок на КПД системы, в процессе моделирования были рассмотрены различные случаи размещения испарительных секций по отношению к горизонту – наклон от 5 до 90 градусов.

Также, анализировалось влияние степени заполнения испарителя СПОТ водой на эффективность системы.

Предположительная схема расположения элементов СПОТ ГО в реакторном отделении АЭС с ВВЭР-1000 изображена на рис. 1. Чтобы обеспечить вывод транспортных трубопроводов через ГО в ВВЭР-1000, можно использовать систему вентиляции реакторного отделения, а именно две гермопроходки данной системы. Но, в данном случае испарители будут расположены слишком низко, вследствие чего под куполом РУ могут образовываться плохо охлаждаемые естественным конвективным перемешиванием воздуха в ГО «застойные зоны» паровоздушной смеси, из-за чего применение этого варианта не является оптимальным. Таким образом, необходимо на этапах проектирования ГО в новых РУ с ВВЭР предусмотреть создание дополнительных гермопроходов под вывод транспортных трубопроводов ДТС.

Предварительный расчет характеристик термосифонного контура СПОТ ГО

Для контура СПОТ ГО было выполнено расчетное моделирование с использованием теплогидравлического кода RELAP5/MOD3.4.

Смоделированный двухфазный контур состоит из следующих участков: испарительного – теплообменник-испаритель в ГО, конденсационного – теплообменник-конденсатор вне ГО, двух транспортных – паропровод от теплообменника-испарителя к теплообменнику-конденсатору и возвратный трубопровод конденсата.

Высотные отметки испарителя и конденсатора разнесены на величину ~15 м. Это сделано для того, чтобы соответствовать реальной компоновке СПОТ ГО для серийного энергоблока с ЯЭУ типа ВВЭР-1000/В-320.

В роли испарителя рассматривалась одна теплообменная секция, которая образована набором профилированных (штампованных) тонкостенных пластин, с толщиной стенки 1 мм. Габариты секции 2,0×2,0×0,18 м.

Материал пластин – нержавеющая сталь. Пластины между собой свариваются контактной сваркой. Между каждыми двумя пластинами внутри имеется 3 щелевых канала: 2 канала с проходным сечением 35×4 мм, расположенных на периферии, и 1 канал с проходным сечением 30×4 мм, расположенный в центральной части. Шаг сборки, равный расстоянию между осями пластин, равен 10 мм. Для соединения пластин в верхней и нижней частях предусмотрены отводящие паровые и подводящие конденсатные коллекторы.

Для осуществления моделирования контура СПОТ, на наружной поверхности испарительной и конденсационной трубок задавались граничные условия 3-го рода. В непосредственной близости к внешней поверхности ГО температура воздуха менялась в пределах от $+90^{\circ}\text{C}$ до $+150^{\circ}\text{C}$. Последнее значение близко к максимально допустимой температуре парогазовой смеси в верхней части ГО при проектных авариях.

Для наружной поверхности пластинчатого теплообменника-испарителя значение коэффициента теплоотдачи α_1 было принято равным $100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Для получения значений скорости, при которых соблюдаются условия конвективного обтекания пластин теплообменника, был использован код MELCOR 1.8.5.

Значение эффективного коэффициента теплоотдачи с внешней поверхности конденсатора было принято равным $500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Достижение данной величины вполне возможно, если при обдуве конденсатора воздухом в тяговых каналах за пределами гермооболочки будет использован конденсатор с хорошо развитой внешней поверхностью теплообмена, например, с оребрением поверхности. Также, с учетом того, что отсутствуют жесткие ограничения на габариты внешних конденсационных секций, которые находятся вне ГО, имеется возможность наращивания теплообменной поверхности.

В качестве температуры окружающего воздуха для расчетов была принята максимальная температура для площадок АЭС Украины и южной климатической полосы России в летнее время, равная $+40^{\circ}\text{C}$.

Основные расчетные параметры в установившемся режиме, в зависимости от заполнения СПОТ ГО (из расчета на одну испарительную пластинчатую секцию габаритами $2,0 \times 2,0 \times 0,18 \text{ м}$) и температуры внешней стенки испарителя, приведены на .

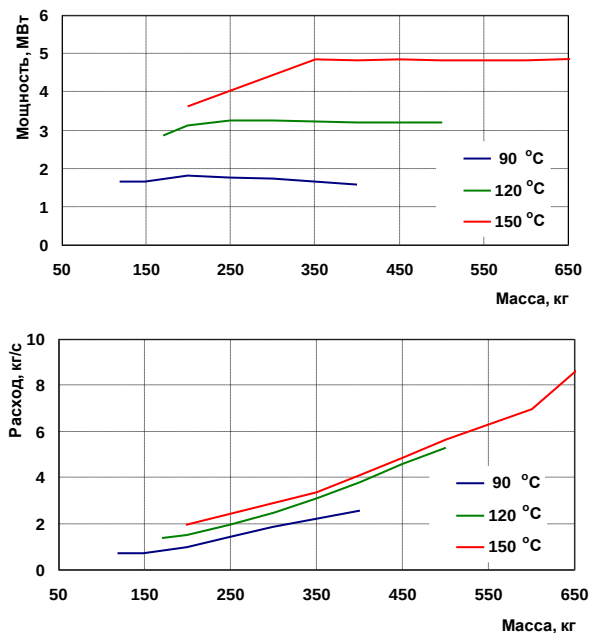


Рис. 2. Эффективность испарительной секции СПОТ ГО в установившемся режиме в зависимости от начального заполнения

Таким образом, было получено допущение, что заполнение СПОТ ГО рабочим телом (вода) составляет $\sim 400 \text{ кг}$ на 1 испарительную секцию. Данный момент был учтен при дальнейших расчетах работы СПОТ ГО при ТА.

Расчет эффективности СПОТ ГО при ТА

Расчетное моделирование работы СПОТ ГО на РУ В-320 при ТА, вызванной полным длительным обесточиванием станции, выполнено с использованием теплогидравлического кода MELCOR 1.8.5.

Вводные были таковы: в работе находятся 11 испарительных секций СПОТ ГО, т.е. в рабочем состоянии находятся 3 канала из 4-х и дополнительно в отказе находится одна из секций какого-либо работоспособного канала (отсечные арматуры закрыты).

Для сравнения выполнен также расчет для случая, когда СПОТ ГО нет в проекте реакторной установки. На всех последующих графиках кривые, полученные без учета СПОТ ГО, обозначены как «Base», а кривые, соответствующие работе СПОТ ГО, обозначены как «PHRS».

Расчетное время выбиралось исходя из условия стабилизации основных параметров в ГО в случае, когда используется СПОТ ГО.

В обоих случаях учитывалось наличие ПАР в ГО (~ 120 полноразмерных секций AREVA). Расположение секций предполагалось в центральном зале реакторного отделения (ЦЗ РО) и условно все секции были разделены на 2 группы по 60 секций. В одну из групп входили секции, расположенные по периферии ЦЗ в зоне действия СПОТ ГО, во вторую – в неохлаждаемых участках ЦЗ.

В расчетах использованы характеристики СПОТ, ранее полученные при помощи кода RELAP5/MOD3.4.

Важно учесть факт того, что расчетное давление внутри ГО ВВЭР-1000 составляет 5,0 кгс/см² (абс.). Это давление ГО способна выдерживать неограниченно долго без риска возникновения наведенных отказов. Отказ ГО не произойдет также при временном превышении расчетного давления на 15% (5,8 кгс/см² абс.) и маловероятен при кратковременном превышении на 25% (6,3 кгс/см² абс.). С другой стороны, в практике расчетов ТА постулируется, что отказ ГО происходит со 100% вероятностью при более чем двукратном превышении проектного давления, т.е. 10 кгс/см² (абс.). Следовательно, можно принять, что вероятность отказа ГО возрастает от практически 0 до 100% при росте давления от 5,0 кгс/см² (абс.) до 10 кгс/см² (абс.).

Как показали предварительные расчёты, одним из худших сценариев с точки зрения нарушения целостности ГО вследствие превышения проектных параметров (давление, температура, масса накопленного водорода) является полное длительное обесточивание энергоблока при изначально плотных 1-м и 2-м контурах ЯЭУ.

При отсутствии в проекте РУ СПОТ ГО риск разрушения ГО с вероятностью, близкой к 100%, достигается уже к концу 6-го часа аварии (рис. 3). В то же время, СПОТ ГО приводит к стабилизации давления на безопасном уровне менее 5 кгс/см² (абс.) вплоть до 7 часов с момента начала ТА. В последующем, при работе СПОТ ГО, давление остается почти неизменным на протяжении всей внутрикорпусной фазы ТА (для ВВЭР-1000 это время составляет ~ 12 часов, если не предпринимать никаких противоаварийных действий). После отказа корпуса реактора, кроме переопрессовки ГО за счёт газовыделения при реакции кориума с бетоном, возможны и другие пути потери целостности ГО (например, проплавление кориумом гермодвери транспортного коридора шахты реактора и т.д.). Иначе говоря, наличие СПОТ ГО позволит гарантированно предотвратить отказ ГО во всех случаях, когда противоаварийные мероприятия, направленные на удержание расплава в корпусе, окажутся успешными.

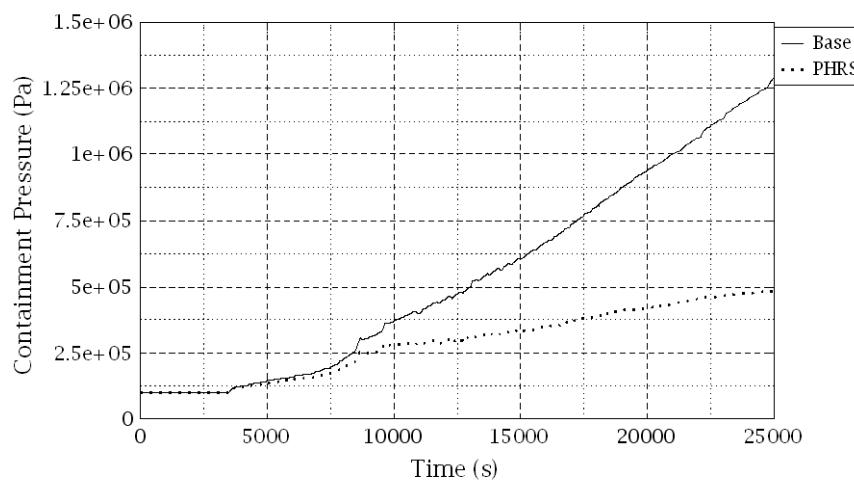


Рис. 3. Давление парогазовой смеси в купольной части ГО (абс.)

Далее, эксплуатация СПОТ ГО практически не влияет на массу водорода, полученного в реакторе ($\sim 750 \dots 800$ кг), но, благодаря частичной конденсации водяного пара, создает более благоприятные условия для работы ПАР. Так, при наличии СПОТ ГО, ПАР к моменту завершения расчета рекомбинируют ~ 460 кг водорода, или 58 % его полного количества (рис. 4, рис. 5.). В то же время, при отсутствии СПОТ ГО (в предположении, что ГО сохранит целостность), за это же время ПАР рекомбинируют только ~ 80 кг водорода, или чуть больше 10 % от его полного количества.

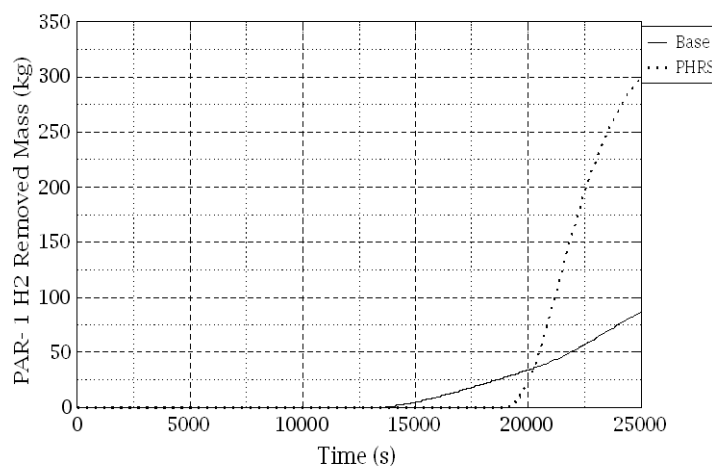


Рис. 4. Масса водорода, рекомбинированного ПАР 1-й группы

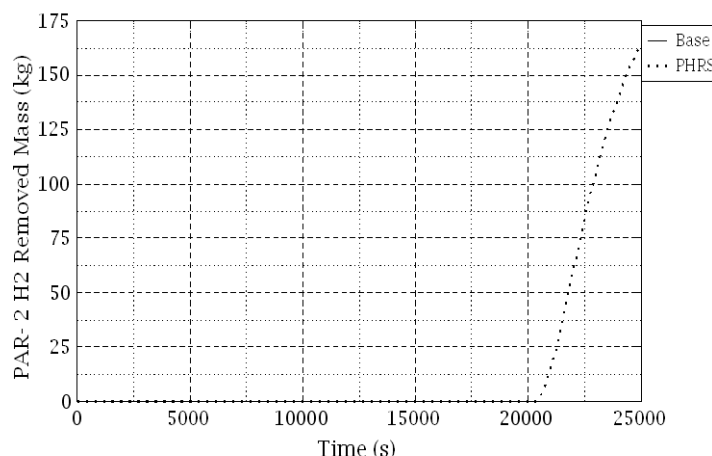


Рис. 5. Масса водорода, рекомбинированного ПАР 2-й группы

Наконец, стоит заметить тот факт, что при использовании СПОТ парогазовая смесь имеет более низкую температуру в ГО, которая даже в купольной части не превышает проектного значения $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). Этот факт может оказаться существенным для сохранения в рабочем состоянии КИП, расположенных в ГО, а значит, облегчит выполнение противоаварийных мероприятий.

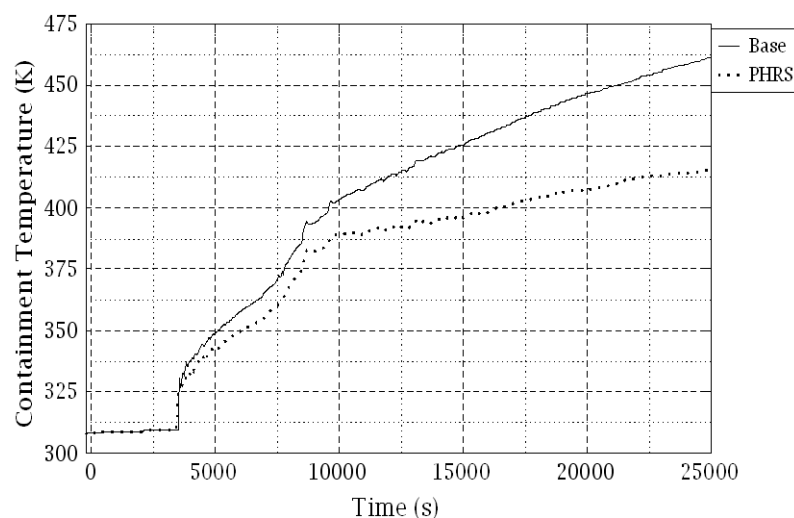


Рис. 6. Температура парогазовой смеси в купольной части ГО

Этот факт может оказаться существенным для сохранения в рабочем состоянии КИП, расположенных в ГО, а значит, облегчит выполнение противоаварийных мероприятий.

Выводы

На основе предварительных расчетных характеристик, которые были получены из анализа возможных схемных решений СПОТ ГО и их компоновки, можно сделать вывод, что существует возможность создания и внедрения эффективных СПОТ ГО на основе кольцевых термосифонных контуров с водяным теплоносителем.

Применение термосифонного теплообменного оборудования дает возможность эффективного и, главное, безопасного отвода теплоты из гермооболочки к конечному поглотителю, даже при малых значениях температурных напоров.

Для разработки СПОТ ГО, а также для исследования ее характеристик, необходимо создать расчетную модель данной системы с использованием связки контурно- и контеймент-ориентированных программ, в данном примере - RELAP5 и MELCOR.

Для исключения возможности повреждения целостности ГО при выходе из строя источников внешнего и аварийного электроснабжения в условиях проектных, запроектных и тяжелых аварий целесообразно провести внедрение в состав современных систем безопасности системы пассивного отвода остаточных тепловыделений от гермооболочки - СПОТ ГО.

Список использованных источников

1. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report. Tokyo Electric Power Company, 2011. – Режим доступа: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111202e13.pdf. Wednesday, 12 September 2012, 16:48:02.
2. Наффаа Х.М., И.И. Свириденко, Д.В. Шевелев. Пассивные системы охлаждения защитных оболочек реакторных установок / Х.М. Наффаа, И.И. Свириденко, Д.В. Шевелев // 36. науч. пр. СКУЯЭтаП. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2012. – Вып. 2(42). – С.46–55.
3. Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants / IAEA safety standards series. — No. NS-G-1.10. — 2004. — 127 p.
4. Lee S.-W. Assessment of Passive Containment Cooling Concepts for Advanced Pressurized Water Reactors / S.-W. Lee [et al.] // Ann. Nucl. Energy, 1997. — Vol. 24, No. 6. — P.467–475.
5. Passive Safety system and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants. IAEA-TECDOC-1624. — Vienna: IAEA, 2009. — 159 p.
6. Наффаа Х.М., В. А. Герлига, Д.В., Шевелев, А. С. Балашевский. Оценка эффективности системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки РУ с ВВЭР в условиях длительного обесточивания / Х.М. Наффаа, В.А. Герлига, Д.В. Шевелев, А.С. Балашевский // Ядерная и радиационная безопасность. – Киев, 2013. – Вып. №2 (58). – С. 27–31.

ДИАГНОСТИКА НАРУШЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР

Качур С.А., Дюло В.Д.

Выполнен анализ существующих моделей теплообмена, используемых для диагностики нарушения процесса теплообмена в активной зоне реактора типа водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР).

Введение

В ядерном реакторе (ЯР) имеется возможность возникновения условий, при которых происходят превышения установленного уровня мощности или превышения скорости разгона. Опасность кризиса теплообмена общеизвестна — пережог защитной оболочки вследствие резкого увеличения температуры поверхности нагрева оболочки твэла с последующим выходом продуктов деления в контур [1].

Для реакторов типа ВВЭР представляет опасность кризис теплообмена первого рода, который обусловлен переходом пузырькового кипения в пленочное и наблюдается, как правило, при довольно высоких удельных тепловых потоках. Характерной величиной в данном случае является критический тепловой поток, определение которого при различных условиях представляет практический интерес [2, 3].

В динамике проявление кризиса первого рода наиболее вероятно в ситуациях, связанных с превышением локального либо интегрального энерговыделения по активной зоне реактора. Проявление кризиса первого рода возможно также в случае снижения расхода теплоносителя. Однако в случае применения в качестве топлива двуокиси урана, обладающей значительной инерцией теплоотвода к теплоносителю, скорость изменения мощности реактора даже при его аварийной остановке может оказаться существенно меньше скорости спада расхода теплоносителя.

Механизмы кризиса теплоотдачи в каналах в значительной мере определяются режимами течения двухфазной смеси, недогревом жидкости до температуры насыщения и плотностью теплового потока [2]. Между всеми механизмами кризиса нет резких границ, и есть области одновременного влияния двух или более механизмов. В связи с этим интерпретация опытных данных и форма описания их эмпирическими уравнениями вызывают определенные трудности. Традиционным является представление опытных данных в координатах $q_{кр}(x_{кр})$ или $N_{кр}(i_{вх})$ (где $q_{кр}$ — критическая плотность теплового потока, $x_{кр}$ — критическое массовое паросодержание, $N_{кр}$ — критическая мощность, $i_{вх}$ — энтальпия на входе). Если последняя зависимость включает первичные данные эксперимента, то при переходе к зависимости $q_{кр}(x_{кр})$ необходимо вычислить из уравнения теплового баланса $x_{кр}$, что сопряжено с дополнительными ошибками.

Кризис в пучках стержней оказывается более сложным явлением, чем в каналах простой геометрии, не только из-за формы канала, которая приводит к теплогидравлическим неравномерностям по сечению, но также из-за условий работы тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), которые определяются конструктивными особенностями кассеты, наличием необогреваемых поверхностей, присутствием дистанционирующих решеток или других устройств. Поэтому использование рекомендуемых соотношений должно производиться с известной

осторожностью и с учетом максимально возможного количества факторов, включая диапазон применения формул.

Современные исследования однозначно указывают на локальный характер кризиса в пучке, т. е. кризис возникает на поверхности, около которой паросодержание оказывается наивысшим в пучке. Расчет на основе так называемого метода ячеек предполагает деление пучка на отдельные ячейки. Однако существуют следующие трудности применения этого метода: 1) пока отсутствуют надежные данные о коэффициенте перемешивания двухфазных потоков в пучках; 2) закономерности возникновения кризиса в ячейке пучка стержней могут отличаться от закономерностей, полученных для каналов с простой геометрией; 3) конкретные конструкционные особенности тепловыделяющих сборок (ТВС) оказывают влияние на процесс кризиса в них.

Активные зоны реакторов крупных атомных электростанций (АЭС) имеют сложные структуры с большим количеством тепловыделяющих сборок и регулирующих органов, работающих в напряженных условиях. Для решения задачи оптимизации энерговыделения в таких активных зонах и повышения экономности работы АЭС потребовалась разработка специальных средств и устройств автоматики, обеспечивающих контроль и управление такими ядерными реакторами.

В общем случае необходимые сигналы и установки срабатывания аварийной защиты (АЗ) обосновываются расчетными и экспериментальными исследованиями и зависят от типа реактора. Часто параметры, определяющие безопасность реакторной установки, невозможно прямо измерить. К таким параметрам относятся: температура топлива и оболочек, положение наиболее «горячей» точки, место закипания и т.д. В этом случае необходимо на основании физических и теплотехнических расчетов определить безопасные области изменения измеряемых параметров, а также установки аварийной защиты (АЗ) для каждого из этих параметров.

Запаздывание срабатывания АЗ по отношению к моменту появления аварийной ситуации определяется инерционным запаздыванием измерительных приборов, запаздыванием при прохождении сигнала в логической схеме и особенно механическим запаздыванием при введении аварийных стержней [3].

Описание функционирования АЭУ при локальных возмущениях как случайного процесса, основными показателями которого в режиме предельных тепловых нагрузок являются параметры поверхностного кипения, а именно, давление теплоносителя, температура теплоносителя в камере смешения, среднее объемное паросодержание [1], позволяет использовать в качестве основы адаптивных систем управления стохастические модели.

Таким образом, с одной стороны, существует необходимость в создании простых и эффективных моделей процесса теплообмена в технологическом канале реакторов, позволяющих на основании небольшого количества параметров делать заключение о нарушении теплообмена на ранних стадиях. С другой стороны, необходима разработка быстродействующих адаптивных систем управления, модели которых учитывали бы стохастический характер процесса теплообмена.

Цель работы

Целью данной работы является анализ существующих моделей теплообмена, используемых для диагностики нарушения процесса теплообмена в активной зоне реактора типа ВВЭР. В частности, ставится задача определения наиболее точной и качественной модели, позволяющих на основании небольшого количества параметров делать заключение о нарушении теплообмена на ранних стадиях

Модели описания процесса теплообмена в активной зоне реактора

Гидродинамические расчеты в ядерной энергетике связаны с течениями в каналах [2]. Течение теплоносителей в активной зоне ядерных реакторов, теплообменников, парогенераторов практически всегда носит турбулентный характер.

В условиях работы каналов активной зоны реактора и парогенераторов при значениях относительной энтальпии, близких к нулю или единице, двухфазный поток при подводе тепла может быть термодинамически неравновесным. Пар может присутствовать в жидкости, которая в среднем недогрета до температуры насыщения (массовое расходное паросодержание $x < 0$). В закритической зоне пар может быть перегрет, несмотря на присутствие влаги. Эти обстоятельства усложняют точные расчеты таких режимов. Поэтому используются эмпирические соотношения для описания гидродинамики и теплообмена в таких потоках.

Превышение температуры нагреваемой поверхности, погруженной в жидкость или омываемой жидкостью, над температурой насыщения на определенную величину (Δt_{HK}) приводит к образованию пара на поверхности (кипению жидкости). Значение Δt_{HK} , при которой начинается кипение, зависит от большего количества факторов (давления, скорости движения жидкости, недогрева, материала поверхности, ее шероховатости, краевого угла смачиваемости, количества растворимых в жидкости газов и т. д.). В общем виде Δt_{HK} не определяется.

В зависимости от плотности теплового потока и ряда других факторов на поверхности нагрева образуются или отдельные паровые пузыри, или сплошной слой пленки пара, и кипение называется пузырьковым или пленочным. Кроме того, кипение различается по типу конвекции (кипение при свободной конвекции в большом объеме и кипение при вынужденной конвекции) и по отношению средней температуры жидкости $T_{ж}$ к температуре насыщения T_s (кипение жидкости недогретой до температуры насыщения — поверхностное кипение при $T_{ж} < T_s$ и кипение жидкости, догретой до температуры насыщения при $T_{ж} \approx T_s$).

Пузырьковое кипение [4, 5] может быть развитым (при большом количестве центров парообразования) и неразвитым (при малом количестве центров парообразования). В последнем случае значительная доля тепла снимается конвекцией жидкости.

Характер зависимостей истинного паросодержания в обогреваемых каналах, т.е. для диабатного течения, различен для четырех областей расходного паросодержания (рис. 1). На начальном участке (область I) течение имеет конвективный характер, свойственный для функционирования каналов активной зоны реакторов типа ВВЭР. Область II представляет собой режим поверхностного кипения, характеризующийся следующими термодинамическими условиями: $T_{ж} < T_s$, $\theta_{ст} \geq T_s$. На этом участке паровые пузырьки образуются на поверхности нагрева, проникают в поток и конденсируются в его ядре. Истинное объемное паросодержание (кривая AC) лежит в области отрицательных значений x . Дальнейшее движение теплоносителя по его течению приводит к объемному кипению, которое имеет место при термодинамических условиях $T_{ж} = T_s$, $\theta_{ст} > T_s$ (область III). Этот режим характерен для ядерных реакторов кипящего типа на испарительном участке активной зоны. Четвертая область кипения (область IV) представляет собой кризисный участок кипения, на котором установлены термодинамические условия $T_{ж} = T_s$, $\theta_{ст} \gg T_s$. Данная область и соответствующий ей режим является недопустимым для нормальной эксплуатации ядерного реактора.

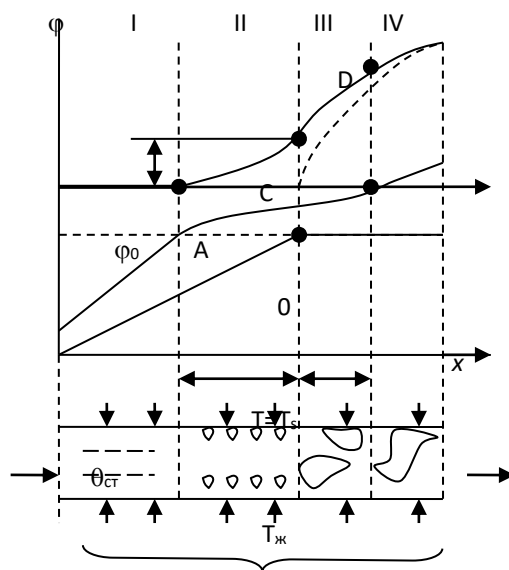


Рис. 1. Парогенерирующий канал.

Параметры:

$T_{ж}$ — температура жидкости;

T_s — температура кипения при данном давлении;

$\theta_{ст}$ — температура стенки ТВЭЛ;

φ — истинное паросодержание;

x — массовое паросодержание (относительная энтальпия);

q — удельный тепловой поток;

l — длина канала.

В соответствии с результатами исследований, изложенными в [2]:

для области I $x < x_0$, $\varphi = 0$;

для области II $x_0 < x < 0$,

$$\varphi = \varphi_0 (1 - x / x_0)^{1,35}; \quad (1)$$

для области III $0 < x < x_p$,

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{x}{x_p} (\varphi_p - \varphi_0); \quad (2)$$

для области IV $x > x_p$, $\varphi = \varphi_p$.

В формулах (1), (2)

$$\varphi_0 = 1,17 q^{0,35} / p^{0,15} (\rho w)^{0,15}; \quad (3)$$

$$x_0 = -0,573 q^{0,7} (p / \rho w)^{0,3}; \quad (4)$$

$$x_p = [1 + (\rho' / \rho'') (1 - \beta_p) / \beta_p]^{-1}; \quad (5)$$

$$\varphi_p = [1 + s(1 - \beta_p) / \beta_p]^{-1}; \quad (6)$$

$$\beta_p = 0,322 (p / r \rho w^{0,2}); \quad (7)$$

$$s = 1 + 2,27(1 - \pi)^2 (\rho' / \rho_w)^{0,7}; \quad (8)$$

$$\pi = p / p_{кр}; \quad (9)$$

где $p = 0,5 \div 10$ МПа — давление;

$\rho_w = 100 \div 3600$ кг/(м² · с) — массовая скорость;

$q = 0,2 \div 2$ МВт/м² — удельный тепловой поток;

g — теплота испарения;

s — коэффициент скольжения;

β — объемное расходное паросодержание;

ρ' и ρ'' — плотность жидкости и плотность пара соответственно.

На основании системного анализа физических моделей кризисных явлений при кипении в двухфазном потоке четыре основные модели, трактующие физические условия возникновения кризиса теплоотдачи с различных, существенно отличающихся друг от друга позиций, в работе [6] сформулированы следующим образом:

1. Гидродинамическая модель кризиса теплоотдачи, впервые предложенная С. С. Кутателадзе для условий кипения жидкости при ее свободном движении. В основу этой физической модели, получившей широкую известность и дальнейшее развитие в ряде работ, положен эффект вытеснения жидкости из двухфазного пристенного слоя потоком пара, генерируемого на обогреваемой теплоотдающей поверхности. Этот модельный подход не дает возможности объяснить ряд известных экспериментальных фактов. В их числе, например, результаты И. П. Смогалева, согласно которым значение $q_{кр}$ при кипении в большом объеме может превышать величину этого параметра в условиях вынужденного движения теплоносителя с малыми скоростями.

2. Тепловая модель кризисных явлений, впервые предложенная Г. Я. Кружилиным, а также физически близкие к ней модельные представления В. И. Толубинского. В основу этой концепции кризиса теплоотдачи положено явление предельного насыщения двухфазного пристенного слоя в предкризисной области центрами парообразования, а также баланс интенсивностей процесса подвода тепла к пристенному паровому пузырю и отвода тепла от него в ядро потока.

3. Термодинамическая модель В. П. Скрипов, исходящая из предположения о связи кризиса теплоотдачи с потерей термодинамической устойчивости двухфазного пристенного слоя при достижении превышения величиной критического перегрева жидкости температуры ее метастабильного состояния.

4. Предложенная В.В. Яговым модель трансформации структуры двухфазного пристенного слоя в области тепловых потоков, непосредственно предшествующих $q_{кр}$, связывающая развитие кризисных явлений на теплоотдающей поверхности с процессом формирования нестабильных паровых пленок, возникающих над локальными сухими пятнами на теплоотдающей поверхности. Эти модельные представления концептуально близки тепловой модели кризиса теплоотдачи Г. Н. Кружилина, корреспондируются с физическими представлениями В.И. Толубинского, а также соответствуют общему подходу к оценке этого явления, предложенного У.М. Резеновым.

Для решения задач безопасности АЭС, в том числе связанных с локальной верификацией критического теплового потока (КТП) в ТВС водоохлаждаемых ЯР, используются теплогидравлические коды улучшенной оценки: RELAP-5, TRAC (США), ATHLET (Германия), THYDE (Япония), CATHENA (Канада), CATHARE (Франция), CORSAR (Россия) [6, 7]. В проблеме повышения точности оценок КТП при численном анализе аварийной динамики реакторных установок определяющим является следующий факт. Расчеты кризисов теплоотдачи в каналах водоохлаждаемых ЯР во всех версиях

наиболее совершенных зарубежных кодов до настоящего времени реализуется на основе эмпирических соотношений, полученных в экспериментах только с цилиндрическими каналами. Согласно оценкам, выполненным [8, 9, 10] это обстоятельство предопределяет получение существенно завышенных расчетных данных по КТП при аварийных пониженных режимных параметрах ЯР.

Анализ эффективных подходов к решению задачи безопасности ЯР на основе верификации экспериментальных корреляций для расчета КТП в ТВС водоохлаждаемых ЯР с использованием версий тепло динамических кодов RELAP-5/ MOD 3 позволил определить следующий важный следующий аспект этой проблемы. Разработка методологии локальной верификации базовых физических моделей и корреляций аварийных теплогидравлических процессов, в первую очередь, кризиса теплоотдачи при кипении тесно, взаимосвязана с другой актуальной для практики эксплуатации водоохлаждаемых реакторов проблемой: автоматическим распознаванием кризиса теплоотдачи в парогенерирующих каналах на основе анализа флуктуаций режимных параметров процесса теплообмена. Согласно [11] надежная идентификация кризиса теплоотдачи, а также любой другой теплогидравлической аномалии (например, начала кипения для реакторов некипящего типа) должна быть надежно обеспечена в условиях, когда существующими контрольно-измерительными средствами эти тепло гидравлические режимы принципиально не могут быть обнаружены. Разработка методов раннего обнаружения аварийных теплогидравлических процессов в ТВС на основе шумовой диагностики ЯР, является одной из наиболее важных проблем, подлежащих решению при создании диагностических компьютерных систем на основе методологии ИИ в структуре технических средств поддержки оператора (СПО) АЭС нового поколения.

В контексте сформулированных задач в работе [12] предложен подход к комплексному решению диагностических и верификационных задач. При этом алгоритм идентификации нижней границы пузырьковой структуры двухфазного потока в ТВС, рассмотренный в [12], разработан в качестве диагностического модуля специализированной ЭС [12], которая предназначена для функционирования в структуре перспективного компьютерного комплекса СПО АЭС.

Исходя из диагностической концепции, изложенной в [12] , а также с учетом особенностей верификации КТП в ТВС водоохлаждаемых ЯР необходимо обратить внимание на следующее принципиальное обстоятельство. В настоящее время можно считать установленным, что нарушения эксплуатационных режимов в оборудовании ядерных энергоблоков и их аномальные эксплуатационные режимы, включая аварийные теплогидравлические процессы в ТВС, в первую очередь, кризисы теплоотдачи на поверхности ТВЭЛ являются вероятностными физическими явлениями, причем флуктуационные составляющие сигналов режимных параметров процесса теплообмена (давления, температуры, расхода и др.) являются стохастическими процессами. Следовательно, решение задачи идентификации тех случайных процессов и объектов, которые характеризуют параметры этих нарушений, принципиально может быть обеспечено на основе методов распознавания, разработанных на основе концепции искусственного интеллекта (ИИ) [12-14].

Интересное решение задачи идентификации стадий процесса кипения в пучках стержней предлагается в работе [6], а именно использование ИНС Хемминга, принимая в качестве входной информации параметры автоспектральной плотности акустического шума. Однако в этом случае необходимо иметь образец рассматриваемых стадий процесса кипения, который не может быть однозначно описан в условиях неопределенности. Кроме того, правильность идентификации ситуации зависит от размерности искусственной нейронной сети (ИНС), что в свою очередь влияет на быстродействие и скорость принятия решения. Поэтому такой подход не целесообразно применять для идентификации по всему множеству

ТВС ЯР.

Использование интегральных компьютерных кодов (RELAP-5) не позволяет полностью говорить о корректности полученных результатов из-за наличия неопределенности компьютерного кода и расчетной модели, а также неопределенности начальных условий. Поэтому необходимы новые теплогидравлические исследования и разработки расчетных кодов нового поколения.

Выводы

Определены проблемы диагностики нарушения процесса теплообмена в активной зоне реактора. Подчеркнуто, что существует необходимость в создании простых и эффективных моделей процесса теплообмена в технологическом канале реакторов, позволяющих на основании небольшого количества параметров делать заключение о нарушении теплообмена на ранних стадиях.

Произведен анализ существующих моделей описания процесса теплообмена в активной зоне реактора, который может быть использован для усовершенствования теоретической научной основы построения системы внутриреакторного контроля (СВРК) с целью получения своевременной и полной информации при эксплуатации реакторных установок.

Список использованных источников

1. Емельянов И.Я. Управление и безопасность ядерных энергетических установок/ И.Я. Емельянов, П.А. Гаврилов, Б.Н. Селиверстов — М.: Атомиздат, 1975. — 280с.
2. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/ П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 360с.
3. Емельянов И.Я. Основы проектирования механизмов управления ядерными реакторами/ И.Я. Емельянов, В.В. Воскобойников, Б.А. Масленок — М.: Атомиздат, 1978. — 272с.
4. Герлига В.А. Пузырьковые кипящие потоки в энергооборудовании АЭС/ В.А. Герлига, В.И. Скалзуб — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 520с.
5. Петухов Б.С. Теплообмен в ядерных энергетических установках/ Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 460с.
6. Долинский А.А. Методология распознавания и верификации кризисов теплоотдачи в стержневых сборках/ А.А. Долинский, И.Г. Шараевский, Н.М. Фиалко и др.// Пром. теплотехника. — 2005. — Т.27, №6. — С.66-80.
7. Шараевский И.Г. Кризис теплоотдачи при кипении недогретой и насыщенной жидкости на поверхности ТВЭЛ как диагностический объект/ И.Г. Шараевский, Н.М. Фиалко, Н.О. Меранова // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. — 2009. — Вып.12. — С.80-85.
8. Бобков В.П. О точности описания различными кодами критических тепловых потоков в пучках стержней/ В.П. Бобков, И.П. Смогалева// Теплоэнергетика. — 2001. — №3. — С.21-28.
9. Мигров Ю.А. Теплогидравлические расчетные коды нового поколения. Общая характеристика и перспективы развития/ Ю.А. Мигров, С.Л. Соловьев // Тепло физические

аспекты безопасности АЭС. Теплогидравлические коды для энергетических реакторов (разработка и верификация) /Сб. тез. док. Конф. «Теплофизика-2001», Обнинск, 2001.

10. Нигматулин Б.И. Состояние и развитие отечественных системных теплогидравлических кодов для моделирования аварийных и нестационарных процессов на АЭС/ Б.И. Нигматулин, О.И. Мелихов, С.Л. Соловьев // Теплоэнергетика. — 2001.— №3. — С.17-20.

11. Абагян А.А. Проблемные вопросы эксплуатации АЭС/ А.А. Абагян, Л.М. Воронин, Ю.Н. Филимонцев// Материалы 2-й международной конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики», Москва, ВНИИАЭС.— 2001. —С.49-52.

12. Шараевский И.Г. Метод верификации начала вскипания теплоносителя в каналах ядерного реактора/ И.Г. Шараевский, Е.Д. Домашнев, А.П. Архипов и др.// Пром. теплотехника. — 2001. — Т.23, №4-5. —С.114-121.

13. Шараевский И.Г. Возможности совершенствования компьютерных систем контроля АЭС на основе методов искусственного интеллекта/ И.Г. Шараевский, Е.Н. Письменный, Е.Д. Домашнев и др.//Пром. теплотехника. — 2000. — Т.22, №1. —С.80-85.

14. Шараевский И.Г. Распознавание режимов течения двухфазного потока в каналах ядерного реактора по шумам технологических параметров/ И.Г. Шараевский// Пром. теплотехника. — 2000. — Т.22, №1. —С.53-59.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СХЕМ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА

И.В.Симонов, С.Г.Ерофеев

Существуют разные концепты конфигурации энергетических ветроустановок, для дальнейшего развития ветроэнергетики необходимо определить оптимальные конфигурации ветроэнергоустановок. В данной статье рассмотрены основные типы конструкции ветроэнергоустановок.

Введение

За период с 2010 года по 2020 год наблюдалось планомерное снижение цен за 1 кВт*ч электроэнергии полученной от возобновляемых источников, рисунок 1. [1] Для развития энергетики и ветроэнергетики в частности, необходимо знать основные современные типы ветроэнергетических установок [2].

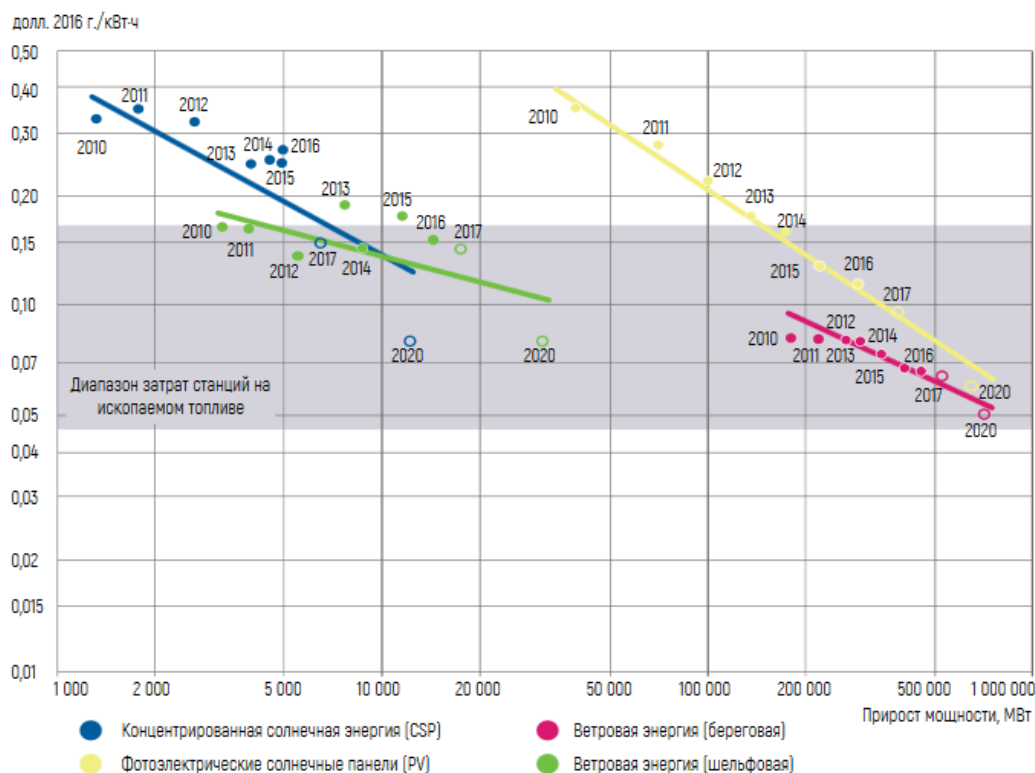


Рис.1. Диаграммы стоимости электроэнергии, полученной от разных источников;

Цель работы

Целью данной работы является анализ современных типов ветроэнергоустановок с горизонтальной осью вращения ротора. Описание структуры и особенностей каждого типа

даст понятие для дальнейшего развития ветроэнергостановок. Так же для различных условий подходят определенный тип ветроэнергостановок (ВЭУ).

Типы ВЭУ

Существует 4 основных типа ВЭУ использование каждого из них зависит от определенных условий, таких как номинальная мощность, типа электрогенератора, работы с сетью. [3] Далее разберем подробнее каждый из 4 типов[4].

1) ВЭУ с фиксированной скоростью.

Данный тип имеет многоступенчатый мультипликатор и асинхронный генератор с короткозамкнутой обмоткой типа беличьей клетки. Генератор подключается к сети через трансформатор, батарея емкостей служит компенсатором реактивной мощности, на рисунке 2 представлена схема данного типа ВЭУ.

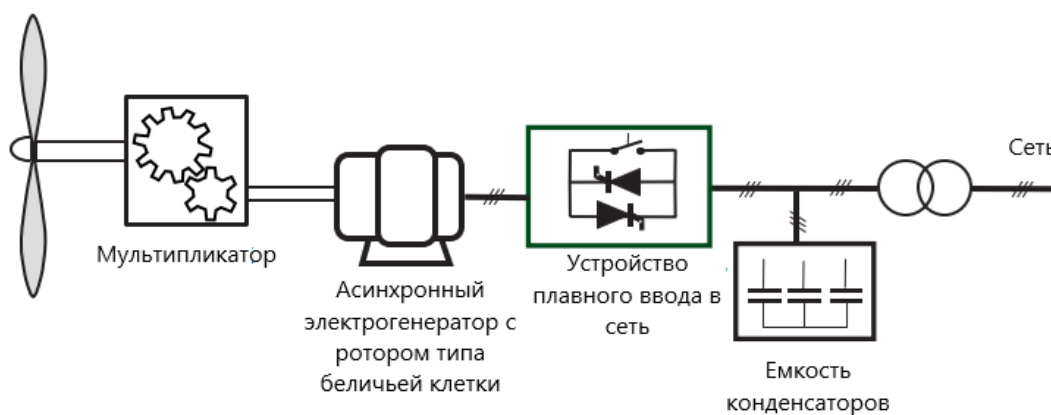


Рисунок 2. ВЭУ с фиксированной скоростью вращения.

Данный концепт ВЭУ имеет низкую стоимость производства, надежность, но к минусам относят малую эффективность и низкое качество выдаваемой электроэнергии тяжело контролировать.

2) ВЭУ ограничивающая скорость.

Используя методы контроля OptiSlip и FlexiSlip, можно изменять подключенное сопротивление к ротору в следствии чего можно добиться контроля скольжения и мощности ВЭУ, рисунок 3. За счет того, что сопротивление вынесено отдельно достигается хорошая теплоотдача.

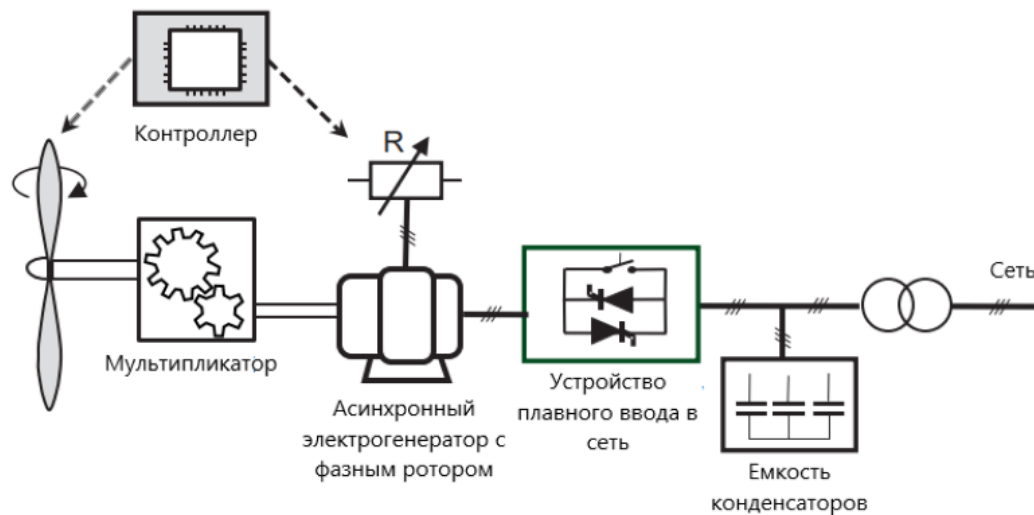


Рисунок 3 – ВЭУ ограничивающая скорость.

Недостатком является то, что размер резисторов определяет диапазон контролируемого ветра, обычно этот предел 0-10%. При этом забираемая энергия расходуется в резисторах на нагрев. Данный тип может уменьшить механические потери и колебания энергии из-за внезапных порывов ветра.

3) ВЭУ ограничивающая скорость с частичным преобразованием мощности.

Данный тип ВЭУ используют частичный преобразователь мощности, подключенный к ротору генератора, обычно через контактные кольца. Эта концепция поддерживает работу в широком диапазоне скоростей ветра (в зависимости от размера преобразователя мощности) рисунок 4.

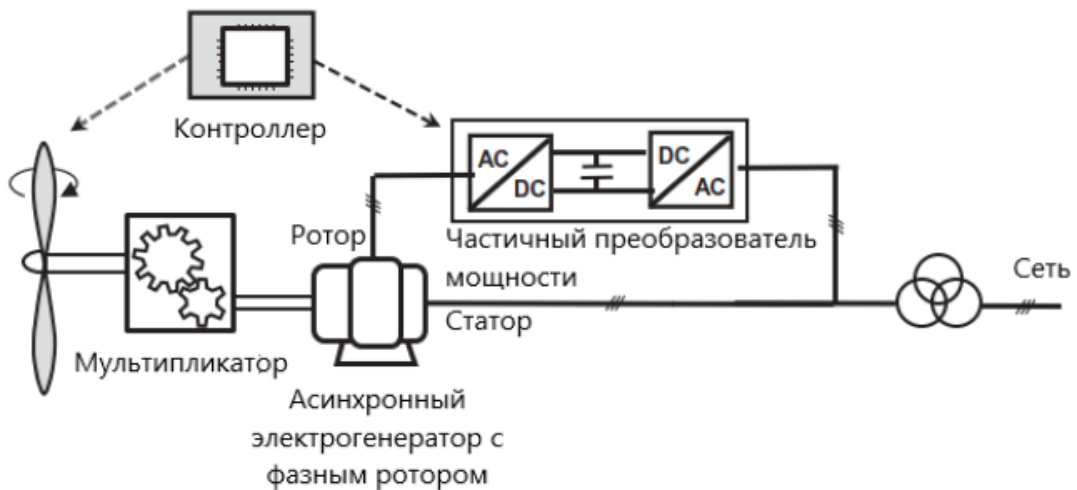


Рисунок 4 - ВЭУ ограничивающая скорость с частичным преобразованием мощности.

Из рисунка 3 видно, что статорная обмотка подключена к сети, в то время как ротор подключен через частичный преобразователь мощности, имеющий мощность около 30% от мощности установленного электрогенератора. Данный преобразователь разделяет механическую и электрическую частоту, делая стабильную работу ВЭУ при переменной

скорости ветра возможной. Стоит учесть, что частичный преобразователь мощности производит реактивную энергию, которая запасается в конденсаторах, что делает не нужным установку компенсатора реактивной мощности и мягкого ввода в сеть ВЭУ. [5]

4) ВЭУ ограничивающая скорость с полным преобразованием мощности.

Полный преобразователь мощности позволяет управлять генератором в диапазоне скоростей до 100% от рабочих. Кроме того, он поддерживает плавное подключение к сети и компенсацию реактивной мощности во всем диапазоне скоростей. Подобно типу 3, система управления этой концепции включает в себя электрическое управление для управления активной и реактивной мощностью, а также управление углом Питча для ограничения скорости ротора, рисунок 5.

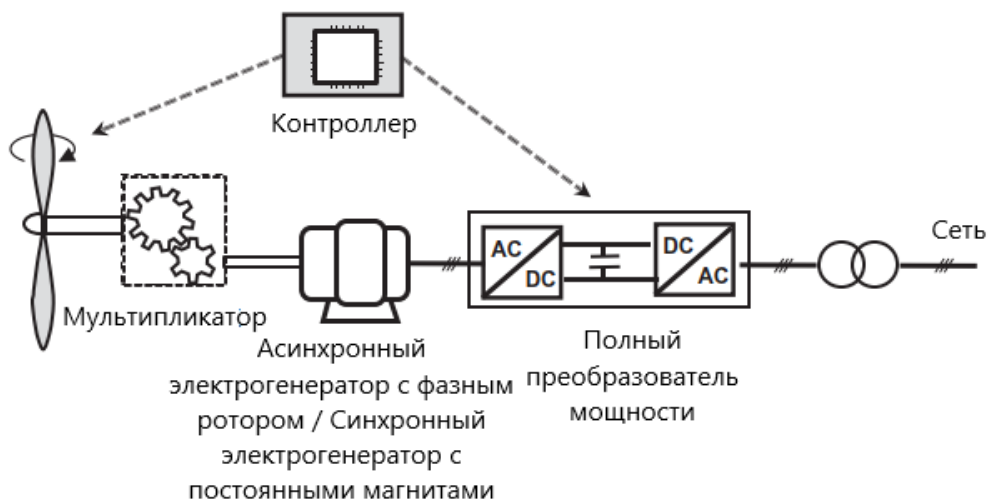


Рисунок 5 - ВЭУ ограничивающая скорость с полным преобразованием мощности.

Некоторые концепты ВЭУ данного типа могут не иметь мультипликатора. По сравнению с типом 3, тип 4 имеет преимущества электрогенератора: лучшая эффективность; отсутствие контактных колец; более простая или даже отсутствие мультипликатора (при использовании синхронного электрогенератора с постоянными магнитами); полное управление вырабатываемой мощностью, а также лучшая способность поддержки сетки. [6]

Выводы

В данной статье были приведены основные типы ВЭУ и их сравнение, описаны преимущества и недостатки каждого типа. Наилучшими типами ветроэнергетических установок для дальнейшего исследования и развития, являются тип 3 и 4.

Список использованных источников

1. Титаренко О.Н. Комбинированная электроэнергетическая система на основе возобновляемой и водородной энергетики / О.Н.Титаренко, И.В. Симонов // Энергетические установки и технологии учредители: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет" 2019.

2. Кувшинов В.В. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / В.В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии, Севастополь: СевГУ, 2019. Т.5. № 2.
3. Letcher T.M. Wind energy engineering / T.M. Letcher // Academic press, 2017
4. Hansen A.D. Wind Turbine Technologies / A.D.Hansen // Academic press, 2017
5. Michalke G. Modelling and control of variable speed wind turbines for power system studies / G. Michalke, A.D. Hansen // Wind Energy, 2010
6. Kazmierkowski M.P. Control in Power Electronics Selected problems / M.P. Kazmierkowski, R. Krishnan // London and New York, NY: Academic Press; 2002

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ВЭУ

И.В. Симонов

Ветроэнергетика является одним из лидеров возобновляемой энергетики. В данной статье рассмотрен асинхронный электрогенератор с двойным питанием.

Введение

В ветроэнергетики используют различные типы электрогенераторов, как асинхронные, так и синхронные. Наиболее используемыми электрогенераторами в современных ВЭУ являются синхронные электрогенераторы с постоянными магнитами и асинхронные электрогенераторы с двойным питанием. [1,2] Выбор между синхронным и асинхронным генератором зависит от многих факторов. [3] Синхронный генератор (СГ) возможно использовать без мультипликатора. Однако, СГ имеет более сложную конструкцию и из-за этого имеет выше стоимость по сравнению с аналогичным асинхронным генератором (АСГ) [4]. СГ не требуется дополнительное компенсирующее реактивное оборудование так как не нужен намагничивающий ток. Однако, для ВЭУ большой мощности экономически выгоднее применять асинхронный генератор с двойным питанием (АГДП) электрогенератора. Данный тип асинхронного генератора имеет ряд преимуществ: оптимальное соотношение цены, увеличенная эффективность и возможность независимого контроля активной и реактивной мощности [5].

Цель работы

Целью данной работы является анализ и моделирование асинхронного электрогенератора с двойным питанием (АГДП). Так же необходимо рассмотреть различные режимы работы электрогенератора.

Моделирование АГДП

Принципиальная конфигурация АГДП показана на рисунке 1. На статор подается трехфазное напряжение непосредственно от сети с постоянной амплитудой и частотой, создающее магнитное поле статора. На ротор также подается трехфазное напряжение, которое в установившемся режиме принимает разную амплитуду и частоту для достижения различных рабочих условий машины (скорость, крутящий момент и т. д.). Это достигается за счет использования трехфазного преобразователя с обратной связью, как показано на упрощенной схеме на рисунке 1.

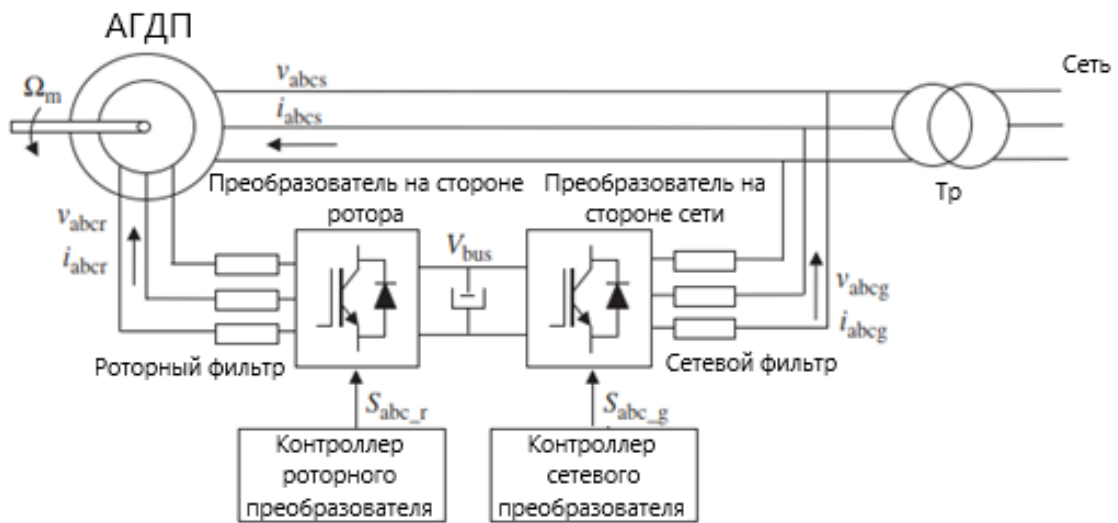


Рисунок 1- Принципиальная конфигурация АГДП

Важным показателем является взаимосвязь между различными частотами вращения электрогенератора. Ниже представлено уравнение описывающее (1), ω_s (частота напряжений и токов статора), ω_r (частота напряжений и токов ротора) и ω_m (электрическая скорость ротора):

$$\omega_s = \omega_r + \omega_m \quad (1)$$

ω_m (электрическая скорость ротора) зависит от числа полюсов и механической скорости вращения вала Ω_m и определяется (2).

$$\omega_m = p * \Omega_m \quad (2)$$

В данном типе асинхронного генератора обмотки статора напрямую подключены к сети, и поэтому ω_s является постоянным. Данная частота является синхронной частотой. Однако ω_r , зависит от электрической скорости вала ω_m . От величины ω_m зависит режим работы АГДП:

- $\omega_m < \omega_s \Rightarrow \omega_r > 0 \Rightarrow s > 0 \Rightarrow$ Подсинхронный режим
- $\omega_m > \omega_s \Rightarrow \omega_r < 0 \Rightarrow s < 0 \Rightarrow$ Гиперсинхронный режим
- $\omega_m = \omega_s \Rightarrow \omega_r = 0 \Rightarrow s = 0 \Rightarrow$ Синхронный режим

Полное сопротивление утечек статора и ротора рассчитывается в зависимости от частоты статора и ротора. Связь между оборотами за фазу, статора и ротора определяется коэффициентом u (3):

$$u = \frac{N_s}{N_r} \quad (3)$$

Для дальнейших вычислений, практического анализа удобнее, если цепи статора и ротора будут иметь одинаковые частоты. Поэтому, цепь ротора «преобразуем» в частоту статора ω_s , согласно уравнениям (4):

$$\vec{V}_r - s\vec{E}_s = (R_r + js\omega_s L_{\sigma r})\vec{I}_r \rightarrow \frac{\vec{V}_r}{s} - \vec{E}_s = (\frac{R_r}{s} + j\omega_s L_{\sigma r})\vec{I}_r \quad (4)$$

Эквивалентная схема АГДП, получается путем привязки ротора к статору, как показано на рисунке 2.

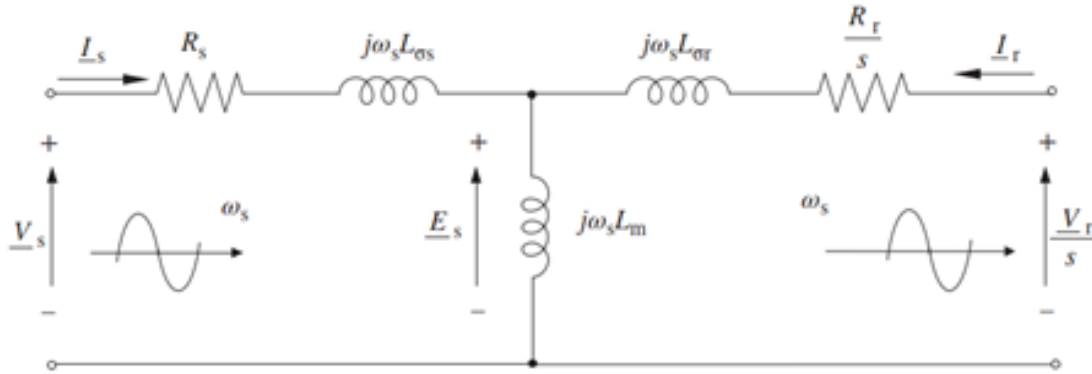


Рисунок 2 - Эквивалентная схема АГДП для одной фазы

На данной схеме все величины имеют одинаковую частоту. Электрические уравнения этой эквивалентной установившейся схемы, включая потоки статора и ротора, определяются следующим уравнениям (5), (6):

Для напряжения:

$$\vec{V}_s = R_s * \vec{I}_r + (js\omega_s L_{\sigma s})\vec{I}_s + (js\omega_s L_m)(\vec{I}_s + \vec{I}_r) \quad (5)$$

$$\frac{\vec{V}_r}{s} = \frac{R_r}{s} * \vec{I}_r + (j\omega_s L_{\sigma r})\vec{I}_r + (j\omega_s L_m)(\vec{I}_s + \vec{I}_r) \quad (6)$$

Для магнитного потока (7),(8):

$$\vec{\psi}_s = L_m(\vec{I}_s + \vec{I}_r) + L_{\sigma r}\vec{I}_s = L_s\vec{I}_s + L_m\vec{I}_r \quad (7)$$

$$\vec{\psi}_r = L_m(\vec{I}_s + \vec{I}_r) + L_{\sigma r}\vec{I}_r = L_m\vec{I}_s + L_r\vec{I}_r \quad (8)$$

где $L_s = L_m + L_{\sigma s}$ - индуктивность статора, а $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ - индуктивность ротора.

Силовые потоки и режимы работы

Базовый баланс активной мощности АГДП показывает, что, сложение активной мощности статора P_s и активной мощности ротора P_r равно механической мощности на валу P_m с вычтенными потерями в меди статора и ротора (9).

$$P_s + P_r = P_{cu_s} + P_{cu_r} + P_m (9)$$

Электромагнитный момент определяется формулой (10):

$$P_{mec} = T_{em} * \Omega_m = T_{em} * \frac{\omega_m}{p} (10)$$

Момент T_{em} определяется в зависимости от значений токов статора и ротора и числа полюсов АГДП (11).

$$T_{em} = 3 * p * L_m * \text{Im}(\vec{I}_r * \vec{I}_s) = 3 * \frac{L_m}{\sigma * L_r * L_s} * p * \text{Im}(\vec{\psi}_r * \vec{\psi}_s) (11)$$

Следует подчеркнуть, что в данной формуле также представлена взаимосвязь между напряжением статора и ротора, которая аппроксимируется пренебрежением падением напряжения на сопротивлениях статора и ротора и индуктивностями рассеяния. Следует отметить, что при условии постоянного напряжения статора V_s из-за прямого подключения к сети требуемая амплитуда напряжения ротора зависит в основном от скольжения или скорости.

Можно выделить четыре возможных режима работы в зависимости от комбинации крутящего момента (положительный или отрицательный) и скорости (подсинхронизм и гиперсинхронизм). Данные режимы приведены к четырем квадрантным режимам работы АГДП, как показано на рисунке ниже. Важным фактом так же является, что только при гиперсинхронном режиме, когда скольжение отрицательное, активная мощность статора и ротора имеет одинаковый знак.

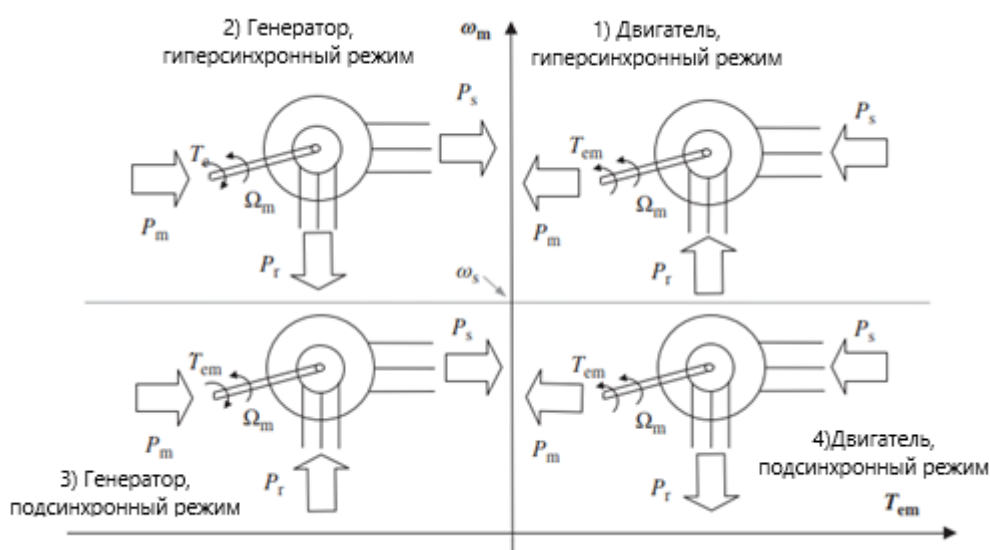


Рисунок 3 – Четыре режима работы АГДП

Динамическая модель АГДП

При разработке динамической $\alpha\beta$ модели АГДП, обратимся к рисунку 4. На данном рисунке показаны три различные вращающиеся системы отсчета, которые обычно используются для разработки пространственно-векторных моделей АГДП. Представленные системы:

- система отсчета статора ($\alpha - \beta$) является неподвижной системой отсчета,
- система отсчета ротора (DQ) вращается с шагом m ,
- синхронная система отсчета (dq) вращается с шагом ω_s .

Нижние индексы «s», «r» и «a» используются для обозначения того, что один пространственный вектор относится к статору, ротору и синхронной системе отсчета соответственно. Используя прямое и обратное вращательное преобразование, пространственный вектор может быть представлен в любой из этих систем. Следовательно, три катушки статора и ротора в отдельности, могут быть представлены двумя неподвижными $\alpha - \beta$ катушками для статора и двумя вращающимися DQ катушками для ротора. В модели контроллера присутствуют блоки которые позволяют перевести величины из одной системы координат в другую (блоки $abc \rightarrow DQ$; $d/q \rightarrow DQ$; $DQ \rightarrow d/q$). Это необходимо в следствии того, что некоторые параметры в MatLab изначально ведутся в различных системах координат.

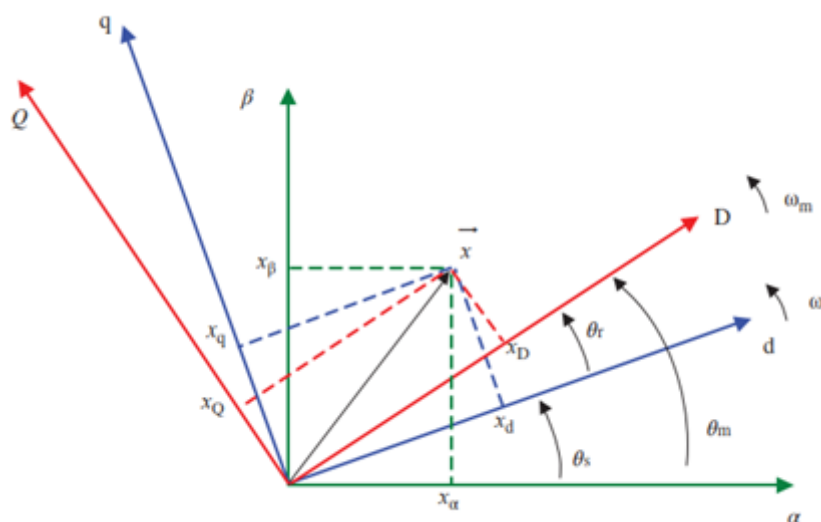


Рисунок 4 – Системы отсчета для изображения векторов АГДП

Предположим, что падение напряжения на статоре мало, поток статора постоянен, т.к статор подключен непосредственно к сети с постоянным напряжением. Следовательно, изменение $\frac{d(\vec{\psi}_s)}{dt}$ равно нулю. Так же можно управлять токами ротора dq, просто используя регулятор

для каждой составляющей тока, как показано на рисунке 5. Однако, для регулирования необходимо оценить магнитный поток статора и ω_g . Для преобразования системы отсчета необходимо оценить угол θ_g . Управление должно выполняться в координатах dq, но тогда напряжение и токи ротора должны быть преобразованы в координаты DQ.

В начале, можно получить угол вектора напряжения статора, затем вычесть 90° из этого расчетного угла и, таким образом, получить θ_s . Контур фазовой автонастройки частоты (ФАЧ), может использоваться для синхронизации напряжения статора с сетью, а также для обеспечения надежности оценки и подавления небольших помех или гармоник. На блок-схеме управления, представленной на рисунке 5, токовые контура работают с токами ротора, относящимися к стороне статора (статорная связь), в то время как преобразование в величины, относящиеся к ротору, выполняется на этапе измерения токов и до создания импульсов для преобразователя для напряжений.[6,7]

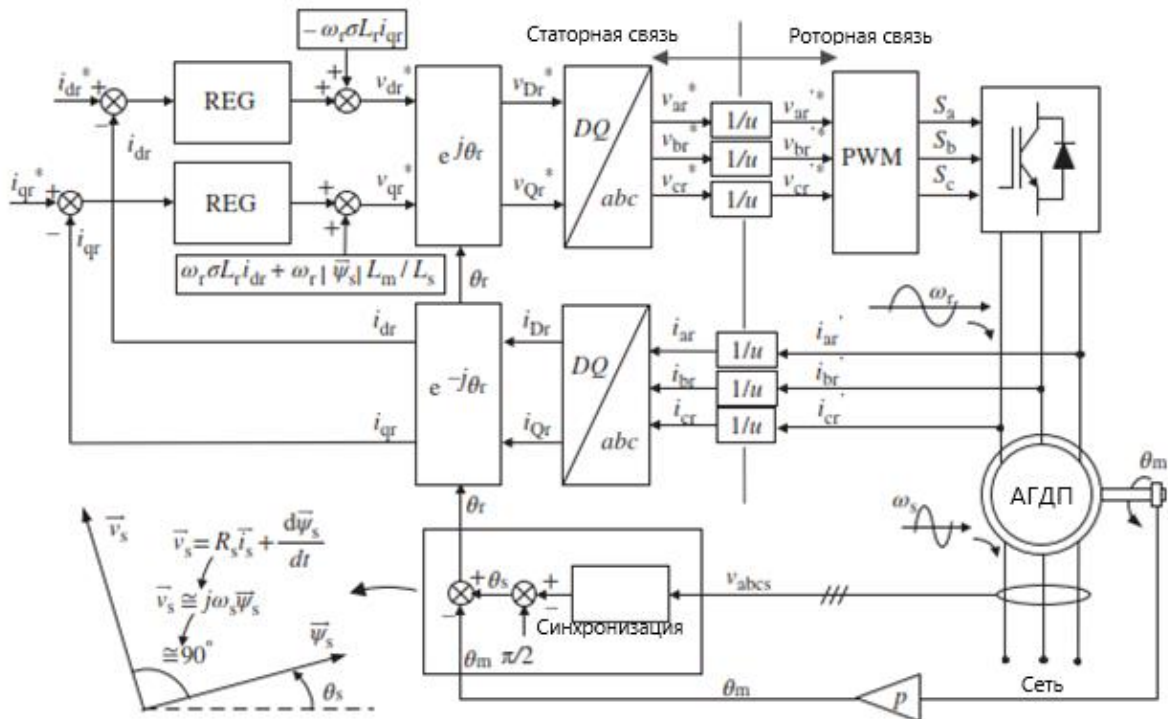


Рисунок 5 – Контроллер тока АГДП

Полная модель контроллера в программе MatLab представлена на рисунке 6.

В зависимости от параметров начала измерений к входу асинхронной машины T_m подводится начальное значение. Будем производить моделирование первоначального запуска (значение на вход подается 0). Питание статорной обмотки будет происходить от сети через блок замеров электрических параметров сети. Питание роторной обмотки будет осуществляться от источника постоянного напряжения через блок идеализированного моста регулирующийся сигналом с блока контроллера.

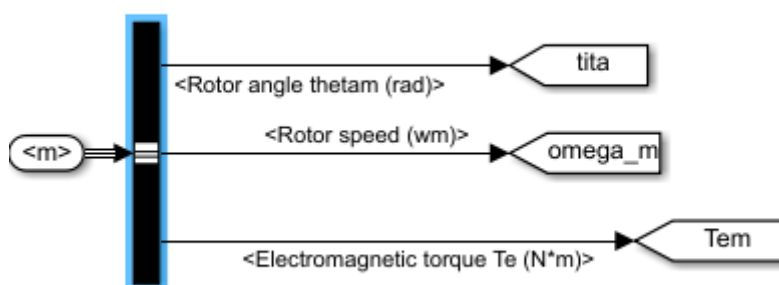


Рисунок 8 – блок передачи угла вращения ротора (в радианах), угловой скорости вращения ротора и электромагнитного момента ($N \cdot m$)

В ходе моделирования работы ВЭУ были получены графики токов и напряжений, а так же круговая скорость и крутящий момент. Данные графики представлены на рисунке 9, из данных графиков можно определить, что ветроэнергостановка смоделирована верно.

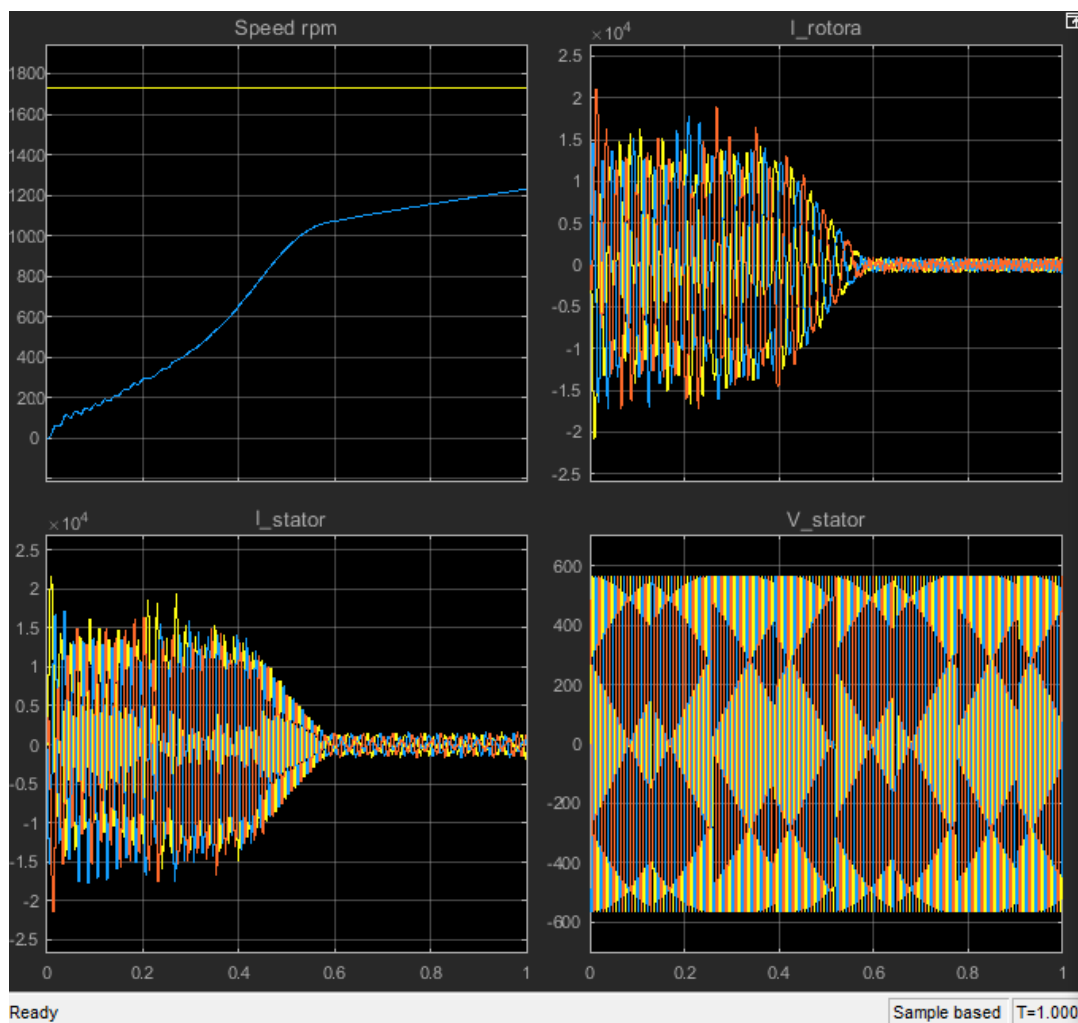


Рисунок 9 – графики выходных параметров ВЭУ

Выводы

В данной статье были рассмотрены принцип работы и основные формулы по которым возможно произвести вычисления АГДП. Оптимальным режимом работы асинхронного электрогенератора с двойным питанием является гиперсинхронный режим. Моделирование АГДП показало правильность построения модели и показало, что АГДП выходит на номинальную работу через 0.6 секунд после включения.

Список использованных источников

1. Титаренко О.Н. Комбинированная электроэнергетическая система на основе возобновляемой и водородной энергетики / О.Н.Титаренко, И.В. Симонов // Энергетические установки и технологии учредители: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет" 2019.
2. Letcher T.M. Wind energy engineering / T.M. Letcher // Academic press, 2017
3. Karimirad M. Offshore energy structures / M. Karimirad // Springer, 2014

4. Hansen L.H. Conceptual survey of generators and power electronics for wind turbines / L.H. Hansen, L. Helle // Riso National Laboratory Technical Report Riso-R-1205(EN) Roskilde, 2001.
5. Orabi M. High-performance induction generator wind turbine connected to utility grid / M. Orabi, F. El-Sousy // INTELEC 2004. 26th Annual International Telecommunications Energy Conference 2004
6. Michalke G. Modelling and control of variable speed wind turbines for power system studies / G. Michalke, A.D. Hansen // Wind Energy, 2010
7. Kazmierkowski M.P. Control in power electronics selected problems / M.P. Kazmierkowski, R. Krishnan // London and New York, NY: Academic Press; 2002

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С КОНТРОЛЛЕРОМ

Кувшинов В.В., Симонов И.В., Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д.

В работе предложены новые типы вспомогательного оборудования для системы солнечная электрогенерирующая установка – аккумуляторная батарея. Разработанный тип функционального блока повышает эффективность работы энергетической станции и способствует более долговечной работе всего оборудования.

Введение

Основной задачей на современном этапе стоит возможность индивидуального снабжения электрической энергией потребителей, удалённых от централизованной инфраструктуры энергоснабжения. Также за счет увеличения автономных потребителей происходит снижение энергопотребления от общей энергосистемы. Если рассмотреть глобальное внедрение возобновляемых источников энергии, следует отметить рост тенденции в данной области [1]. Во многих странах данные источники электроэнергии обеспечивают более 50% выработки электроэнергии, а в некоторые страны практически полностью осуществлен переход на альтернативные источники электропитания. В настоящее время одними из основных мировых проблем являются проблемы, связанные с экологией. Здания не только ухудшают природу, но и потребляют высокое количество энергии: 40 % энергии в мире расходуется на освещение, работу кондиционеров, отопление и т. д. При внедрении ряда инноваций по энергоэффективности можно улучшить экологическую ситуацию в мире.

Для эффективного использования микрогенерации фотоэлектрическими системами необходимо использовать комбинированные установки, в которых одним из основных компонентов будет являться аккумуляторная батарея (АКБ). Из возможных видов систем распределенной генерации в данной работе будет рассмотрен автономный блок, увеличивающий КПД и срок хранения аккумуляторной батареи на солнечных электростанциях [3].

Постановка задачи и цели исследования

Солнечные батареи (далее – СБ) — это основной блок солнечной электростанции, который генерирует электроэнергию благодаря попаданию прямых или отраженных солнечных излучений на панель [2].

В данный момент времени эффективность кремниевых фотоэлементов считается достаточно высокой. Их КПД достигает 10—30%, а чем выше КПД, тем меньше нужна площадь солнечных батарей или их количество.

Используя энергию солнца, можно ежегодно экономить традиционные источники отопления:

- до 75% — для горячего водоснабжения в течение года;
- до 95% — для горячего водоснабжения при сезонном использовании;
- до 50% — с целью отопления;
- до 80% — с целью поочередного отопления.

Выбор количества устанавливаемых панелей зависит от суммарной потребляемой мощности энергопринимающих устройств в сутки. Опираясь тем фактом, что нормальная работа системы, потребление (дом) – генерация (СБ), зависит от равнозначной выработки и использования этой энергии, необходимо учесть тот факт, что существуют временные промежутки нестабильной выработки, а также малое потребление заряда [7,8].

Для решения задачи преизбыточной генерируемой энергии справляется аккумуляторная батарея (далее – АКБ). Благодаря её использованию реализуется возможность накопления заряда, и применение его в час повышенного энергопотребления. Для эффективной работы АКБ необходимо использовать контроллер заряда.

Контроллеры заряда-разряда (далее - КЗР) аккумуляторных батарей в солнечных фотоэлектрических установках контролируют уровни заряда и разряда. При необходимости отключают или переключают СБ с АКБ на нагрузку. КЗР в первую очередь необходимы для оптимизации и регулировки режимов заряда/разряда АКБ с целью продления их срока службы. Систематический перезаряд приводит к кипению электролита и вспучиванию герметичных АКБ. Глубокий же разряд опасен для АКБ тем, что ведет к сульфатации пластин и прекращению работоспособности АКБ. Особенно чувствительны к перезаряду и переразряду свинцово-кислотные АКБ.

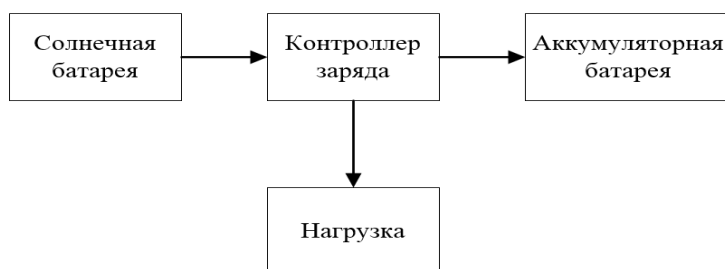


Рис. 1. Упрощенная структурная схема контроллера заряда

Таким образом, КЗР является связующим звеном между СБ и АКБ (рис. 1.). В его основные обязанности входит: автоматическое подключение СБ на заряд АКБ; многостадийный заряд АКБ; автоматическое отключение СБ при полном заряде АКБ; автоматическое отключение нагрузки при установленном уровне разряда АКБ; подключение нагрузки при достаточном заряде АКБ [4,5].

Наибольшее распространение в СБ получили КЗР двух типов:

- 1) КЗР с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ; PWM — Pulse-width modulation);
- 2) КЗР с алгоритмом поиска точки максимальной мощности (ТММ; MPPT — Maximum Power Point Tracking).

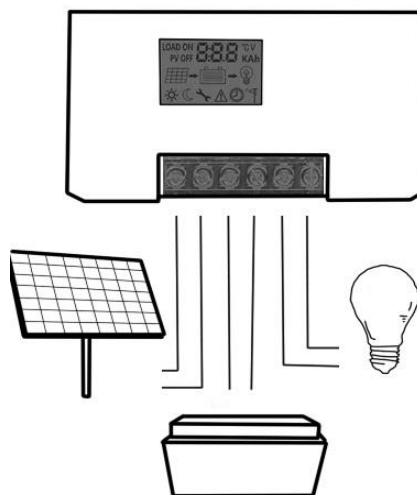


Рис. 2. Упрощенная схема подключения солнечной станции, что включает в себя: СБ, АКБ, Пользователя и КЗР

Существенным недостатком контроллеров заряда заключается в том, что при заряде уровень подачи напряжения на АКБ вне зависимости от накопленного процента энергии, не меняется. Данная форма заряды приводит к уменьшению срока службы АКБ из-за деградации её элементов. Широтно-импульсная модуляция позволяет благодаря капельному току при определённых процентах накопленного заряда регулировать подающее напряжение на АКБ, а также поддерживать уровень заряда на максимальном уровне. Предотвращает быстрый выход аккумуляторной батареи из эксплуатации [4,5].

При плохой освещенности, то есть при напряжении на фотоэлектрических модулях ниже напряжения аккумуляторной батареи и как следствие отсутствие заряда, МРРТ контроллеры повышают это напряжение и заряд все равно происходит. [6, 9]. МРРТ контроллер все время следит за током и напряжением на фотомодулях, умножает их значение и определяет пару ток-напряжение, при которых мощность солнечной батареи максимальна. Процессор отслеживает стадию заряда, в которой находится аккумулятор. Существует несколько стадий: наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка. На основании текущей стадии, МРРТ контроллер, регулирует ток, подаваемый в АКБ.

Также процессор может давать индикацию параметров на табло (при наличии), хранить данные и т.п.

Применение МРРТ контроллеров позволяет получать от солнечных батарей на 15 — 30% больше электроэнергии по сравнению с другими контроллерами [13, 14, 15].

Результаты исследований

При рассмотрении стандартной вольтамперной характеристики фотоэлектрического модуля, можно отметить, что произведенная электроэнергия может быть увеличена, если контроллер заряда будет отслеживать точку максимальной мощности фотоэлектрического модуля. На рисунке 3 можно отметить как изменяется напряжение при различных температурах.

Точка максимальной мощности может исчисляться различными способами. Как правило, контроллер последовательно снижает напряжение от точки холостого хода к напряжению на аккумуляторе. Точка максимальной мощности будет находиться где-то в промежутке между этими значениями.

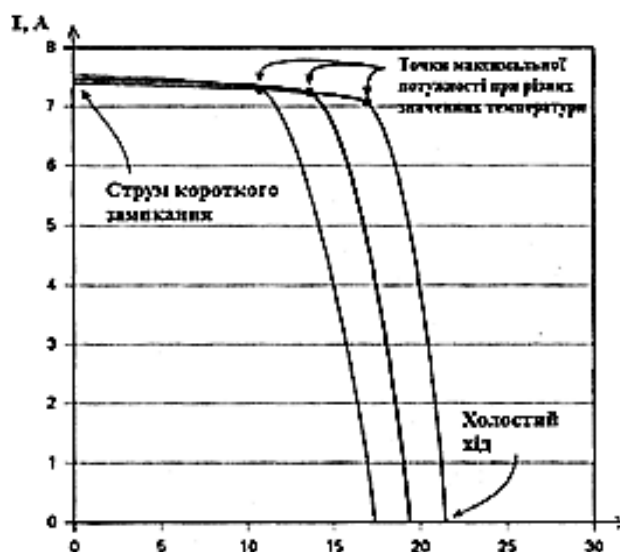


Рис. 3. Изменение напряжения в точке максимальной мощности при различных температурах модуля.

Точка максимальной мощности может исчисляться различными способами. Как правило, контроллер последовательно снижает напряжение от точки холостого хода к напряжению на аккумуляторе. Точка максимальной мощности будет находиться где-то в промежутке между этими значениями.

Задачи блоков структурной и функциональной схемы

На рисунке 2 предоставлен разрабатываемый контроллер заряда-разряда. Он содержит в себе достоинства PWM и MPPT контроллеров. Что позволяет устройству осуществлять поддержание точки максимальной мощности, а также проводить по заданному алгоритму заряд АКБ, для улучшения эффективности. [10,11].

Датчик напряжения необходим для масштабирования измеряемого напряжения.

Контроллер напряжения преобразовывает напряжения генерируемое солнечной панелью таким образом, чтоб обеспечивался режим работы солнечной панели в режиме наибольшего КПД, обеспечивая стабилизированное выходное напряжение.

Центральный блок управления учитывает напряжение и токи во всех ответственных узлах устройства. Осуществляет интеллектуальную функцию управления следующими блоками: контроллера напряжения, зарядного устройства и коммутационного блока

Зарядное устройство обеспечивает заряд и контроль состояния аккумуляторной батареи. Данный блок контролируется и управляется центральным блоком управления.

Аккумуляторная батарея служит резервуаром электрического тока накапливая энергию в период избытка, а в период недостатка, при недостаточном освещении фотоэлементов или при кратковременном росте потребления тока, обеспечивает питание нагрузки [12].

Устройство ввода служит для ввода начальных и рабочих параметров для всего устройства.

Устройство вывода необходим для отображения параметров системы таких как: режим работы коммутационного блока, состояние аккумуляторной батареи, отдаваемая мощность в нагрузку и мощность, генерируемая солнечной панелью [16]. Коммутационный блок

обеспечивает необходимый режим коммутации под управлением центрального блока управления. Блок нагрузки представляет собой потребитель постоянного тока.

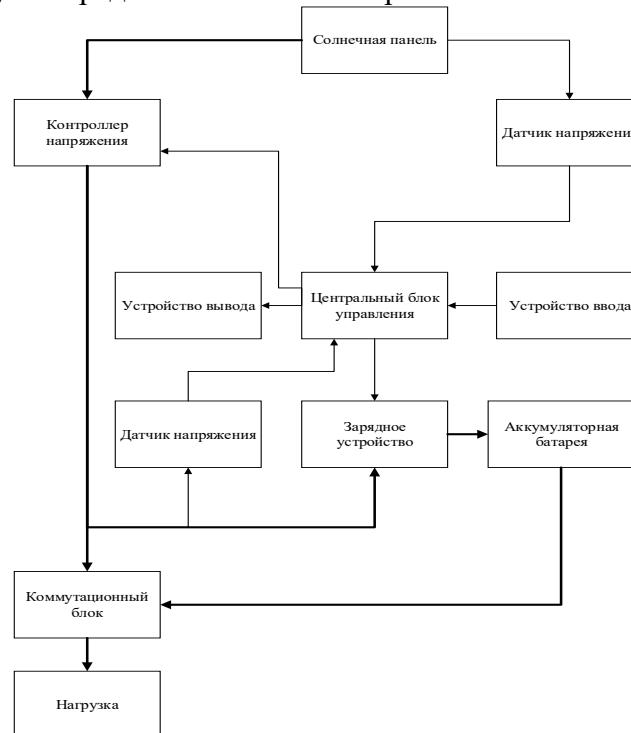


Рис. 4. Структурная схема контроллера заряда с питанием от солнечной батареи.

Алгоритм работы центрального блока управления

На рисунке 5 и 6 предоставлен алгоритм для центрального блока управления.

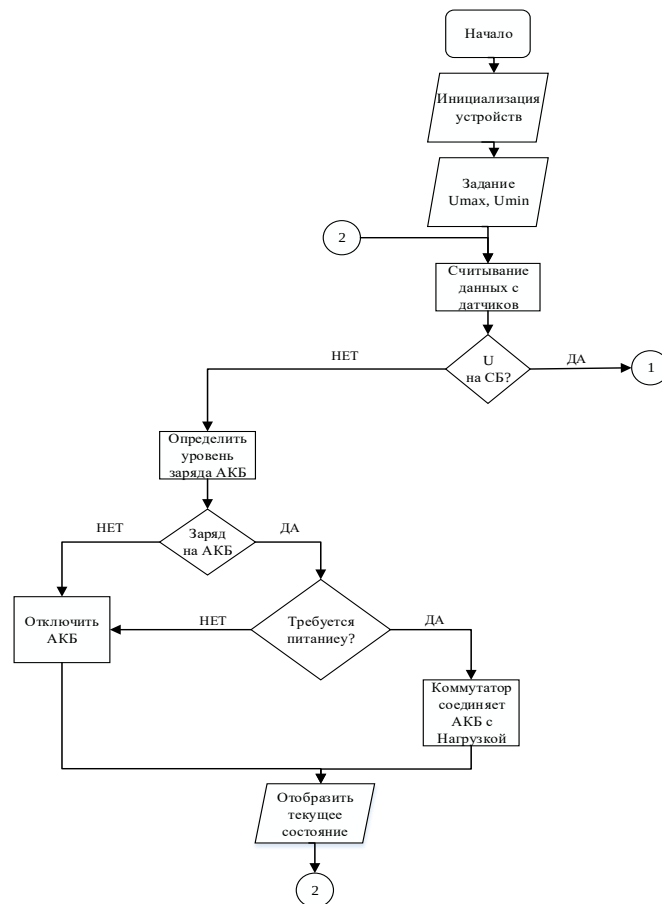


Рис. 5. Алгоритм программы, часть 1

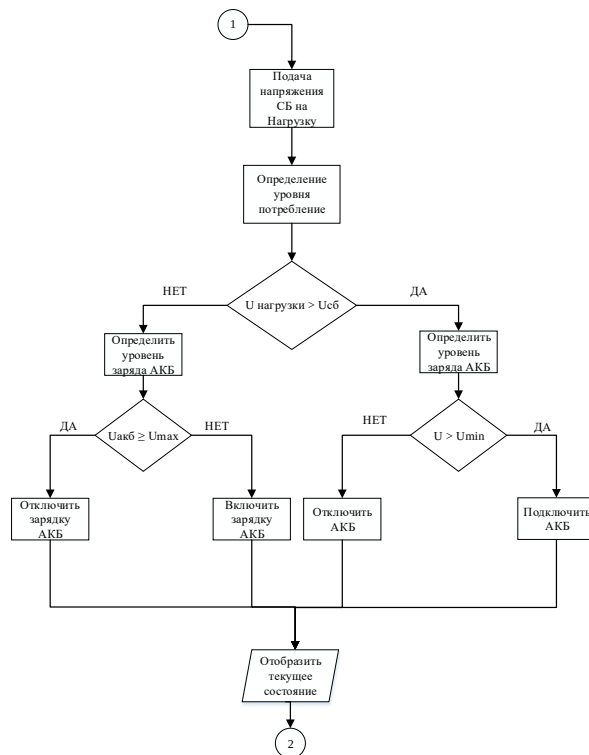


Рис. 6. Алгоритм программы, часть 2

Предлагаемый контролер заряда-разряда несет в себе актуальное решение проблем для больших солнечных станций. Увеличивая выработку энергии, за счет поддержания точки максимально мощности, что увеличивает их КПД. А также используя ШИМ, как часть алгоритма заряда АКБ, увеличиваем срок их эксплуатации [4,5]. Следует учитывать тот факт, что данное устройство более применимо к большим солнечным электростанциям, и не является выигрышным в финансовой области для отдельных потребителей альтернативной солнечной энергии.

Выводы

Использование новых типов вспомогательного оборудования, таких как, контроллер заряда-разряда для солнечных электрогенерирующих установок, значительно повышается эффективность работы всей системы, а также повышается срок её эксплуатации.

Использование комбинированной системы солнечная батарея-АКБ для индивидуальных и промышленных потребителей позволяет сбалансировать потребляемую мощность и положительно влияет на общую работу энергокомплекса. [9]

Список литературы

1. Глиberman А.Я., Зайцева А.К., Кремневые солнечные батареи: Учебное пособие / А.Я. Глиberman, А.К. Зайцева.// Госенергоатомиздат., 1961. — 74 с.
2. Кувшинов В.В., 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.
3. Кувшинов В.В., 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. Кувшинов В.В., Использование солнечных электростанций для обеспечения энергетической безопасности Крымского региона. / В.В. Кувшинов, Ф. М. Аль-Руфай // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 4, С. 252–255.
5. Кувшинов В.В., Исследование сезонной работы промышленного фотоэлектрического модуля PS 250 / В.В. Кувшинов, Е.Г. Какушина, Д.Д. Смирнова // Энергетические установки и технологии – 2017. Т. 3. № 1. С. 47-50.
6. Кувшинов В.В., Система хранения для солнечных станций. / В.В. Кувшинов, Коломийченко В.П., Какушина Е.Г. // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 3, С. 153–158.
7. Кувшинов В.В., Исследование характеристик фотоэлектрической решетки с изменением поверхностной освещенности решетки. / В.В. Кувшинов, Л. М. Абдали, Е. Г Какушина,., Крит, Б. Л., Морозова, Н. В.// Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 4, С. 223–228.
8. Вологдин С.В., Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции. / Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Абдали Л. М., Какушина, Е. Г // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.

9. Гурьев В.В., Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя / В.В. Гурьев, Какушина Е.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В.//Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 90-93.
10. Кувшинов В.В., Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных установок в районе Севастополя. /Какушина Е.Г., Кувшинова В.В., Аджиев О.У., Бердышев К.Ю.// Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 104-110.
11. Зайченко В.М., Направления развития энергетики. / В.М. Зайченко, Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А.//Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.
12. Крит Б.Л. Изменение энергетических характеристик фотоэлектрических элементов путем модификации нанокластеров серебра приемной поверхности. / Б.Л. Крит, Федотикова М.В., Слепцов В.В., Кукушкин Д.Ю., Горожеев, М.Ю. Кувшинов В.В., Морозова Н.В.// Journal of Physics: Conference Series 1396(1),012024
13. Какушина Е.Г. Технико-экономический анализ эффективности ветро-солнечных установок на основе теории сложности. / Е.Г. Какушина, Соломенникова С.И., Якимович Б.А.// В книге: Системы контроля окружающей среды - 2019 Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. 2019. С. 74.
14. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения/ Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. - Л.//Наука, 1989. — 310 с.
15. Симон Ж. Молекулярные полупроводники, фотоэлектрические свойства солнечных элементов. / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре //Мир, 1988. — 344 с.
16. Ирвинг М.Г. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / М.Г. Ирвинг // Постмаркет, 2002. — 544 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЬ

Кувшинов В.В., Симонов И.В., Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д.

В статье представлен комплекс предложений и мероприятий по развитию возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя в целях повышения устойчивости энергосистемы и снижения дефицита электропотребления региональной экономики в Республике Крым и г. Севастополь. Обосновано приоритетное использование альтернативных источников электроэнергии: солнечной радиации и энергии ветра.

Введение

Во время перебоев с энергоснабжением в 2015-2016 годах работоспособность энергосистемы Республики Крым и г. Севастополя удавалось поддержать во многом благодаря работе возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ). Суммарная выработка ВИЭ составляла порядка 200 МВт, что в свою очередь позволяло обеспечить минимальные потребности в электроэнергии потребителей [1].

Развитие возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации имеет приоритетный характер над другими энергетическими системами, связанными с традиционными источниками энергии. Однако при работе параллельно с сетью некоторых типов генерирующих мощностей на основе (ВИЭ), например, солнечных и ветровых электрических установок (ВЭУ) и ветроэлектрических станций (ВЭС), имеются некоторые проблемы связанные с неравномерностью выработки электрической энергии. Из-за этого происходит процесс торможения внедрения установок на основе ВИЭ в энергетическую систему. Устранение этих недостатков будет способствовать быстрейшему развитию возобновляемой энергетики в России [2].

При рассмотрении ветроэнергетических установок можно сказать, что мощность генератора ветроэнергетической установки зависит от двух основных факторов: высоты башни над землей и размера лопастей ВЭС. С увеличением количества лопастей также увеличивается генерируемая мощность, но также увеличивается шумовое загрязнение, поэтому более целесообразно строить эти генерирующие установки в прибрежной зоне или на значительном расстоянии от жилых районов с дополнительными расходами, связанными с передачей энергии. энергия. Сегодня строительство ВЭС мощностью до 15 кВт, объединенных в так называемую «ветряную ферму», экономически целесообразно. Однако создание такой «ветряной электростанции» требует большого количества конструкционных материалов, прежде всего алюминия, производство которого требует значительных финансовых затрат и является экологически небезопасным (шумовое загрязнение и вибрация) [3,5].

Развитие ВИЭ в Крымской энергосистеме невозможно без наличия в энергосистеме резервных базовых мощностей способных мгновенно загружаться и разгружаться в зависимости от потребления и режима работы энергосистемы. Если взглянуть на зарубежный опыт, то во многих странах Евросоюза успешно применяют технологии «Smart-

grid» (умные сети) и их аналоги, но в России данные технологии не так сильно распространены поскольку отсутствуют меры государственной поддержки [6,9].

Потенциал развития энергетической сферы Крымского полуострова имеет большие перспективы развития в области возобновляемой энергетики, для осуществления развития ВИЭ необходимо оказать поддержку производителей оборудования и инвесторов, осуществляющих деятельность в данной сфере [10].

Развитие технологий использования ВИЭ на Крымском полуострове позволит:

- ✓ развить отрасль на базе возобновляемых источников энергии на основе совершенствования методик планирования режимов работы энергосистемы, достичь наиболее оптимального выбора состава генерирующего оборудования на предстоящие сутки;
- ✓ произвести демонстрацию возможностей интеграции ВИЭ в энергосистему;
- ✓ заложить основу экологической безопасности региона;
- ✓ показать, что внедрение ВИЭ в энергосистему не окажет существенного влияния на устойчивость энергосистемы, улучшит экологическую ситуацию, будет способствовать снижению вероятности техногенных катастроф, созданию более благоприятного социального климата [11,12,13].

Постановка задачи исследования

Крымская область является одной из наиболее перспективных регионов России для развития ветроэнергетики и имеет один из наиболее высоких ветропотенциалов на юге страны [4].

Рассмотрим направления развития энергокомплекса республики Крым в области ветроэнергетики и связанные с этим проблемы и пути их решения [14].

Ветроэнергетика в Республике Крым представлена семью электростанциями: Донузлавская ВЭС (10,4 МВт), Судакская ВЭС (6,3 МВт), Сакская ВЭС (19 МВт), Пресноводненская ВЭС (6 МВт), Тарханкутская ВЭС (15,5 МВт), Восточно-Крымская ВЭС (5 МВт) и Останинская ВЭС (24,55 МВт) с суммарной установленной мощностью 88,563 МВт. Расположение ветроэлектрических станций по территории республики Крым представлено на рис. 1.



Рис. 1. Месторасположение ВЭС на территории Республики Крым

На сегодняшний день существующие ВЭС установлены в Восточной, Западной и Юго-Западной части Крымского полуострова. В течение года в Республике Крым преобладают ветры Северо-Восточного, Юго-Западного и Северо-Западного направлений [7].

Установка ВЭС целесообразна в районах со среднегодовой скоростью ветра более 3 м/с. Показания средней скорости ветра на высоте 10-12 метров по данным метеостанций Республики Крым, рассчитанной за период с октября 2005 года по октябрь 2019 года, представлены на рисунке 2 [8].



Рис. 2. Средняя скорость ветра по данным метеостанций Республики Крым за период с октября 2005 года по октябрь 2019 г

Как показано на рисунке 2, территории с наиболее высоким показателем ветроэнергетического потенциала полуострова располагаются в большей степени в прибрежной зоне: Северное, Северо-Западное, Восточное и Юго-Западное побережья.

Результаты исследований

Для изучения карты распространения ветрового потенциала по территории республики Крым необходимо исследовать многолетние данные по метеорологическим справочникам, данные по измерениям на метеостанциях Крымского региона за последние годы и данные результатов измерений, проводимых на работающих ветростанциях. По результатам сравнения полученных характеристик преобладающих скоростей ветра можно делать прогнозы по размещению ветроэлектрических станций в том или ином регионе Крыма. При этом необходимо учитывать данные энергетиков по определению степени возможности увеличения доли генерирующих установок, но основе ВИЭ в общем энергобалансе полуострова. Также необходимо учитывать техническую пропускную возможность линий электропередач и распределительных сетей по возможности подключения новых источников генерации на основе ветроэлектрических и солнечных станций.

Изучение данных, приведенных на рисунке 2 о среднемноголетних скоростях ветра территорий Республики Крым показало, что города: Армянск, Евпатория, Керчь, Саки, Судак, а также территории районов: Ленинского, Раздольненского, Сакского, Советского,

Кировского, Черноморского и территория горной местности Ай-Петри имеют огромный потенциал, необходимый для работы ВЭУ.

Стоит отметить важную роль участия ВИЭ в структуре баланса потребления мощности в часы прохождения максимума в Крымской энергосистеме. Данная структура приведена на рисунке 3.

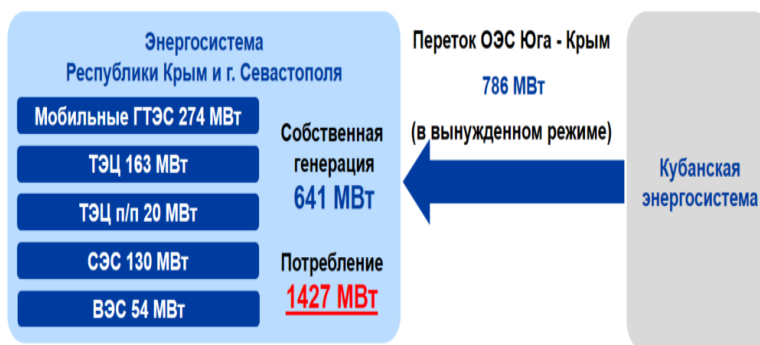


Рис. 3. Структура участия ВИЭ в структуре баланса потребления мощности Крымской энергосистемы

Увеличение доли ВИЭ обязывает разрабатывать нормативную документацию в части регулирования данной отрасли, в связи с чем Правительство Российской Федерации своим постановлением от 13 августа 2018 г. № 937 утвердило Правила технологического функционирования электроэнергетических систем (ПТФ ЭЭС) – комплексный документ, в котором сформулированы основные принципы и требования к работе энергосистемы как единого технологически сложного объекта.

Так же выпущены регламентирующие документы в части показателей способности ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии и мощности:

- Регламент определения объемов фактически поставленной на оптовый рынок мощности (Приложение № 13 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка) – разделы 2', 3', 5.6;
- Технические требования к генерирующему оборудованию участников оптового рынка (раздел 7);
- Порядок установления соответствия генерирующего оборудования участников оптового рынка техническим требованиям (раздел 7).

Определена степень возможности увеличения доли ВИЭ (ввод в работу новых ВЭС мощностью 407 МВт) в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя [15]. С учетом строительства маневренной базовой генерации способной за несколько минут набирать или сбрасывать вырабатываемую мощность, маневренность энергосистемы увеличилась, а вместе с ней и увеличился запас мощности, на которую можно увеличить долю ВИЭ. По результатам расчетов выбрана самая мощная ПГУ энергосистемы, которой является ПГУ-1 Балаклавской ТЭС с установленной мощностью 251 МВт. С учетом роста генерирующей мощности на полуострове и имеющегося запаса перетока мощности из Кубанской энергосистемы, возможен вывод в резерв полной мощности ПГУ-1 Балаклавской ТЭС для регулирования перепадов мощности в энергосистеме, либо работа ПГУ-1 Балаклавской ТЭС в минимальном режиме с запасом 50% от располагаемой мощности

На основании вышеизложенного необходимо учесть маневренные характеристики энергосистемы и возможность увеличения качества прогнозирования способного предугадывать количество вырабатываемой энергии на ВИЭ, можно сделать предварительный расчет по пределу увеличения доли ВИЭ в энергосистеме.

Важно отметить, что выделение более 2 энергоблоков на ПГУ не рентабельно и имеет отрицательную финансовую составляющую. В соответствии с данной информацией предоставлены результаты в таблице 1.

Наличие запаса маневренных генерирующих мощностей (МГТЭС), МВт	Доля ВИЭ на 01.01.2020 год, МВт	Влияние выработки ВИЭ на энергосистему на 01.01.2020 год	Доля ВИЭ на 01.01.2026 год, МВт	Влияние выработки ВИЭ на энергосистему на 01.01.2026 год
251	388	не существенное	883	не существенное
125	388	не существенное	883	существенное влияние
0	388	существенное влияние	883	требуется снижение выработки ВИЭ, либо строительство новых более маневренных станций для регулирования мощности в энергосистеме

Таблица 1. Результаты анализа влияния вырабатываемой мощности ВИЭ с увеличения доли ВИЭ (ввод в работу новых ВЭС мощностью 407 МВт) в энергосистеме

На сегодняшний день сильное увеличение доли ВИЭ в энергосистеме невозможно без принятия значительных мер по компенсации влияния оказываемого на энергосистему. В данном случае установлено, что пределом является увеличение мощности ВИЭ не более чем на 400 МВт, с учетом выделенной в резерв ПГУ для компенсации влияния вырабатываемой мощности на энергосистему.

В результате, после введения Балаклавской ТЭС, Таврической ТЭС, ПГУ-120 Сакской ТЭЦ будет покрывать только текущие потребности. Так что дефицит в энергосистеме будет присутствовать. Другое дело, что после введения большой генерации, у которой технические показатели будут выше, чем у нынешней генерации появляется задел для развития ВИЭ в энергосистеме. Ввод ВИЭ обеспечит экологическую безопасность региона и с учетом взаимодействия с базовой генерацией не окажет существенного влияния на режимы работы энергосистемы.

Об этом свидетельствуют не только многочисленные электростанции, которые успешно работают на территории страны, но и тот факт, что новые проекты по развитию энергетики полуострова постоянно разрабатываются и создаются при поддержке иностранных компаний. Конечно, у многих недоброжелателей есть альтернативная энергетика в Крыму и Севастополю. Некоторые говорят, что такие электростанции требуют больших площадей для размещения, другие - что ими трудно управлять. Атомная электростанция также сложна в управлении. А какой аргумент, скажем, о больших площадях? Ветряные турбины в Крыму можно расположить в неподходящих для сельского хозяйства районах, солончаках, песке и даже на мелководье. Гелиос и ветряные турбины не только не ухудшают условия для Крыма, но и улучшают их: они затеняют почву, снижают скорость ветра - улучшается увлажнение, растет растительность. В этих районах можно пасти скот, выращивать и собирать сено. И самое главное, они не приведут к техногенной катастрофе. Это большой плюс в будущем.

Выводы

Рассмотренные методы прогнозирования потенциала развития энергетических установок на основе возобновляемых источников позволяют обеспечить альтернативную генерацию на территории республики Крым и города Севастополя замещая использование традиционных источников энергии экологически частыми генерирующими мощностями. при этом значительно снижая вредные выбросы в атмосферу.

Установка генерирующих систем на основе ветроэлектрических и солнечных станций возможна в течении короткого времени. За данный срок, возможно установить значительное количество мощностей, по всей территории Крыма и значительно поднять выработку электрической энергии не используя органическое топливо, которое также поставляется на полуостров с материка.

Использование ветровых и солнечных электростанций малой мощности с системами аккумулирования энергии для обеспечения автономных потребителей полуострова способствует снижению потерь при передачи электрической энергии и значительно сокращает расходы на установку линий электропередач.

Все предложенные меры способствуют внедрению в энергетический комплекс Республики Крым и города Севастополя систем на основе альтернативной и возобновляемой энергетики, что особенно важно для курортно-рекреационной системы полуострова и сохранения экологически чистого лечебного воздуха.

Список литературы

1. Кувшинов В.В. Использование термо-фотоэлектрических установок для обеспечения тепловой и электрической энергией Севастополя/ В.В. Кувшинов, Е.Г. Какушина, А.Д. Васильев, А.А. Горецкий // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 51-57.
2. Кувшинов В.В. 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.
3. Кувшинов В.В. Использование солнечных электростанций для обеспечения энергетической безопасности Крымского региона. / В.В. Кувшинов, Ф. М. Аль-Руфаи // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 4, С. 252–255.

4. Кувшинов В.В. Исследование сезонной работы промышленного фотоэлектрического модуля PS 250 / В.В. Кувшинов, Е.Г. Какушина, Д.Д. Смирнова // Энергетические установки и технологии – 2017. Т. 3. № 1. С. 47-50.
5. Кувшинов В.В. Система хранения для солнечных станций. / В.В. Кувшинов, Коломийченко В.П., Какушина Е.Г. // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 3, С. 153–158.
6. Кувшинов В.В. Исследование характеристик фотоэлектрической решетки с изменением поверхностной освещенности решетки. / В.В. Кувшинов, АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г., Крит, Б. Л., Морозова, Н. В // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 4, С. 223–228.
7. Кувшинов В.В. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных установок в районе Севастополя. /Какушина Е.Г., Кувшинова В.В., Аджиев О.У., Бердышев К.Ю.// Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 104-110.
8. Зайченко В.М. Направления развития энергетики. / В.М. Зайченко, Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А.//Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.
9. Крит Б.Л. Изменение энергетических характеристик фотоэлектрических элементов путем модификации нанокластеров серебра приемной поверхности. / Б.Л. Крит, Федотикова М.В., Слепцов В.В., Кукушкин Д.Ю., Горожеев, М.Ю. Кувшинов В.В., Морозова Н.В.// Journal of Physics: Conference Series 1396(1),012024
10. Даус Ю.В. Снижение Затрат На Оплату Потребленной Электрической Энергии За Счет Утилизации Солнечной Энергии./ Ю.В. Даус, И.В. Юдаев, Г.В. Степанчук // Гелиотехника. 2017. №. 4, с. 51-56,
11. Какушина Е.Г. Техничко-экономический анализ эффективности ветро-солнечных установок на основе теории сложности. / Е.Г. Какушина, Соломенникова С.И., Якимович Б.А.// В книге: Системы контроля окружающей среды - 2019 Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. 2019. 74 с.
12. Кувшинов В.В. Установка трекерных систем для повышения генерации электрической энергии солнечными батареями./ В.В.Кувшинов, Какушина Е.Г., Каширин Д.А.//Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 71-76.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СЕВАСТОПОЛЬ

И.С. Ивантеев , Н.М. Шайтор , В.В. Кувшинов

В работе рассматривается вопрос об использовании альтернативных источников электроэнергии в портовых сооружениях. Оценивается их направление и потенциал применительно для государственного унитарного предприятия «Севастопольский морской порт». Требования по электроснабжению к портовым сооружениям. Рассматриваются концепции развития отрасли обстановке.

Введение

Энергия на сегодняшний день играет ключевую роль в развитии и существовании современной жизни человечества. Она сопровождает нас повсюду в том или ином виде, и проникла во все сферы жизнедеятельности человека, начиная от обогрева и приготовления пищи до выхода в открытый космос.

В свете такой мировой ситуации, актуальную роль стала приобретать развитие нетрадиционных источников энергии и повышение энергоэффективности существующих технологий. Наглядное проявление этого ярко иллюстрируется, в повсеместной жизни эволюцией технологией освещения (от лампочек накаливания к светодиодному освещению). Активное использование и развитие получили такие направления, как использование энергии солнца, ветра и воды. Наглядным примером является Дания, где 60% выработки электроэнергии приходится на нетрадиционные источники энергии. Электроэнергия на настоящий момент дню носит универсальный характер, одновременно являясь: благом, товаром как для населения так и заграничного сегмента(рычагом влияния на международной сцене) так необходимой составляющей развития регионов так и страны в целом.

Одним из таких регионов является Севастополь. Вследствие, геополитической ситуации, существовала проблема с электроэнергетическим обеспечением города так и Крыма в целом. Решением проблемы дефицита электроэнергии было создание 2х ГТЭС. Однако это никак не отразилось на состоянии электросетей и средств автоматизации, также неоднозначно остается вопрос наличия мощностей для дальнейшего развития региона и Севастополя. Предприятия города, у которых потребления электричества является жизненно важным условием существования, напрямую зависят от ее достаточного наличия. Кроме того, тарифная сетка на электроэнергию неуклонно растет. Одним из таких предприятий является Государственное унитарное предприятие «Севастопольский морской порт». В связи с этим, повышение энергоэффективности предприятия является важным элементом повышения рентабельности. Примерами такими мероприятиями могут выступать: замена морально устарелого оборудования на современное более экономичное, использование нетрадиционных источников энергии. Использование энергии солнца, воды и ветра являются перспективными направлениями для обеспечения портовых сооружений электроэнергией.

Цель работы

Целью данной работы является анализ возможности повышения эффективности, надежности и бесперебойности электроснабжения портовой инфраструктуры, включая компьютерные системы управления судов и портовой навигации, системы обеспечения перевалкой и хранением грузов, системы энергоснабжения судов у стенки.

Результаты

Оценка солнечного потенциала одного квадратного метра

На сегодняшний день, несмотря на разнообразие различной литературы, публикаций, в большинстве своем расчет солнечной станции (как в литературе, так и среди коммерческих компаний, предоставляющие услуги по продаже и установке) сводится к определению количества фотоэлектрических панелей исходя из предполагаемой нагрузки.

Данный подход применим лишь к идеализированным условиям, так как при расчетах величина солнечной радиации берется стандартной 1000Вт/м, без учета влияния различных внешних факторов.

Очевидно, что необходимо иметь более точную методику расчета или практические замеры на месте будущей установки. Однако, существуют давно разработанные, стандартизированные, апробированные и применяемые на практике методы расчета, к примеру «Методы расчета тепlopоступления в здание от проникающей радиации».

Суть которых состоит в определении суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность, что также подходит для расчетов СЭС с условием учета спектрального распределения энергии.

Воспользуемся вышеуказанной методикой и справочными данными, с помощью которых проведем расчет по месяцам.

В итоге расчета, мы получим приблизительную величину солнечной радиации, ввиду того что некоторые значения коэффициентов будут недоступны и приняты с погрешностью, их значение возможно определить лишь на месте установки или при наличии проектной документации. При расчете примем следующую терминологию :

Солнечная радиация - энергетическая освещенность (облученность или поверхностная плотность потока излучения), создаваемая электромагнитным излучением, поступающим от Солнца, атмосферы и земной поверхности, единицы измерения: мгновенное значение в кВт/м², часовые и суточные суммы в МДж/м².

Прямая солнечная радиация S - энергетическая освещенность, создаваемая излучением, поступающим от диска Солнца, единицы измерения: мгновенное значение в кВт/м², часовые и суточные суммы в МДж/м².

Рассеянная солнечная радиация D - энергетическая освещенность, создаваемая рассеянным в атмосфере и отраженным от земной поверхности солнечным излучением, поступающим из телесного угла, за исключением телесного угла, ограниченного солнечным диском, единицы измерения: мгновенное значение в кВт/м², часовые и суточные суммы в МДж/м².

Общая (суммарная) солнечная радиация I - сумма прямой и рассеянной солнечной радиации, единицы измерения: мгновенное значение в кВт/м², часовые и суточные суммы в МДж/м².

При расчете примем следующие условия :

- расчет приводим для города Севастополь по данным полученным на метеорологической станции Никитского сада.
- панели наклонены под углом 45гр к горизонту
- панели сориентированы в южном направлении
- солнечные панели изготовлены на основе кремния
- пренебрегаем зависимостью выработки энергии фотоэлектрическими панелями от температуры.

Формула для определения суммарной солнечной радиации с учетом облачных и безоблачных дней:

$$I_j^{\text{гор}} = d_{\text{я}} \left(S_{\text{я}}^{\text{гор}} \times K_{\text{ГВj}} + \frac{D_{\text{я}}^{\text{гор}}}{2} + \frac{I_{\text{я}}^{\text{гор}} \times A_k}{200} \right) + d_{\text{обл}} \left(S_{\text{гор}}^{\text{гор}} \times K_{\text{ГВj}} + \frac{D_{\text{гор}}^{\text{гор}}}{2} + \frac{I_{\text{гор}}^{\text{гор}} \times A_k}{200} \right) \quad (1)$$

где $d_{\text{обл}}$ - количество облачных дней в месяц, по месяцам начиная с января.

$d_{\text{я}}$ - количество безоблачных дней в месяц, по месяцам начиная с января.

$S_{\text{ягор}}$ - прямая солнечная радиация, на горизонтальную поверхность при ясном небе. $I_{\text{ягор}}$ – суммарная прямая солнечная радиация, на горизонтальную поверхность при ясном небе.

A_k - альбеда подстилающей поверхности в процентах.

$S_{\text{гор}}$ - прямая солнечная радиация, на горизонтальную поверхность при средней облачности.

$I_{\text{гор}}$ – суммарная прямая солнечная радиация, на горизонтальную поверхность средней облачности.

$K_{\text{ГВj}}$ - коэффициенты для пересчета средних суточных норм прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную 45гр для южной ориентации панелей.

$D_{\text{ягор}}$ - рассеянная солнечная радиация, на горизонтальную поверхность при ясном небе.

$D_{\text{гор}}$ - рассеянная солнечная радиация, на горизонтальную поверхность при средней облачности.

Проведя расчет согласно формуле получим величину суммарной солнечной радиации за месяц, по месяцам в МДж/м²:

Переведем в кВт/м² на суточную величину при этом, получаем :

Следует понимать, что не вся энергия будет преобразована, ввиду того что полученные величины характеризует весь спектр электромагнитного излучения, в то время как солнечные панели преобразуют лишь часть этого излучение с длинной волны до 1100нм.

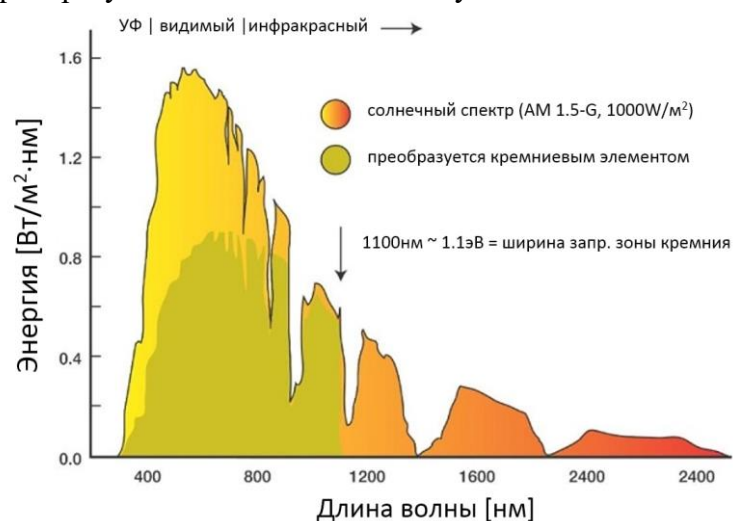


Рис1 . Спектр поглощения коммерческими солнечными панелями

На рисунке 1 показан схематический спектр, солнечного излучения достигающего поверхности земли, грязно-зелёным цветом указана часть спектра, который может поглощать кремниевый солнечный элемент и переводить его в электричество.

Поэтому от рассчитанной энергии по формуле (1.0) 70% проходит преобразования солнечными панелями. Стоит отметить, что КПД панелей достигает до 23%. Учтя это, получаем значения энергии в кВт, которое может выработать кремневая панель размером 1м^2 за сутки, по-месячно, начиная с января:

Январь –0,62 кВт; Февраль–0,79 кВт; Март– 0,95 кВт; Апрель–1,06 кВт; Май–1,09 кВт; Июнь–1,1 кВт; Июль–1,06 кВт; Август–1,05 кВт; Сентября–1,02 кВт; Октябрь–0,91 кВт; Ноябрь – 0,72 кВт; Декабрь– 0,53 кВт.

Исходя из полученных данных, с уверенностью можно сказать, что при проектировании СЭС следует учитывать, неравномерность значения солнечной радиации от времени года и размеры территорий для планируемой СЭС.

Основные положения концепции построения системы системам бесперебойного электроснабжения.

Для электрических сетей общего назначения Российской Федерации характерно низкое качество электрической энергии - отключения, высокочастотный шум, отклонения частоты, провалы напряжения и др.

Согласно заключению Государственного центра метрологического обеспечения в области электромагнитной совместимости (ГЦМО ЭМС), требования ГОСТ 13109-87 к показателям качества электрической энергии (ПКЭ) энергоснабжающими и энергораспределяющими организациями, как правило, не выполняются. Кроме того, требования по качеству электроэнергии, установленные в ГОСТ, зачастую недостаточно высоки в отношении современного телекоммуникационного оборудования.

Очевидно, что подключение к реально существующим электрическим сетям высокотехнологического оборудования, чувствительного к ухудшению качества электрической энергии (компьютеров, активного оборудования вычислительных сетей, телекоммуникационной аппаратуры, банковского и офисного оборудования), связано не только с повышенным риском нарушения функционирования, но и выхода данного оборудования из строя.

В этих условиях установка статических источников бесперебойного питания (ИБП), работающих в режиме "on-line" (двойного преобразования), как средства получения электроэнергии требуемого качества, является необходимой предпосылкой обеспечения устойчивой работы компьютерного и телекоммуникационного оборудования. Кроме того, для современного оборудования характерно применение импульсных блоков питания с нелинейным характером потребления.

Использование мощных трехфазных ИБП с двойным преобразованием для питания такого рода оборудования является оптимальным, поскольку позволяет избежать перегрузок нейтральных кабелей входных электросетей и оборудования трансформаторных подстанций.

Мощные ИБП структуры "on-line" являются основой построения систем гарантированного энергоснабжения (СГЭ) и обеспечивают качественную работу подключенной к ним нагрузки как в штатном режиме (при наличии электропитания на входе), так и в автономном режиме (при отключении входной сети электропитания) за счет энергии, накопленной в аккумуляторных батареях.

Необходимым результатом, достигаемым при реализации СГЭ, можно считать обеспечение возможности функционирования ответственного оборудования при отказе стационарного

ввода (вводов) электропитания в течение времени, достаточного для переключения на резервный источник электропитания или нормального завершения основных рабочих процессов в компьютерных сетях.

Целью системы гарантированного энергоснабжения (СГЭ) является обеспечение высококачественного бесперебойного электропитания ответственных потребителей как в нормальных условиях, так и в случаях нарушения штатного энергоснабжения вследствие аварий или ухудшения его качества в условиях промышленных или иных помех.

Построение систем гарантированного энергоснабжения для комплекса потребителей, территориально расположенных более чем на одном этаже, и, тем более, в нескольких зданиях, может производиться по различным схемам.

В настоящее время наибольшее распространение получили две основные структуры СГЭ - централизованная и распределенная (локализованная).

Централизованная система содержит один ИБП, к которому подключены все ответственные потребители.

В распределенной системе каждый потребитель (или группа локальных потребителей) запитывается от отдельного (локального) ИБП.

Севастопольская бухта

Севастопольская бухта закрыта с моря молами, вследствие этого она не может обладать достаточным волновым потенциалом, поэтому ее рассмотрение с точки зрения альтернативных источников электроэнергии не целесообразно. Мола Севастопольской бухты не входят в производственные мощности ГУПГС «Севастопольский морской порт», поэтому установка Ветровой ЭУ не целесообразна ввиду того, что находятся вблизи Инкермана.

Однако на территории имеются открытые складские площадки, которые можно использовать под солнечные панели, выделенные красным цветом рисунок 2.



Рис 2 . Снимок Севастопольской бухта/Инкерман

В этом случае предпочтительно соорудить крытые площадки, чтобы не терять складские площади, а солнечные панели разместить на их крыше.

Также следует поместить системы накопления электроэнергии, для электропотребления собственных нужд (компьютерные системы управления судов и портовой навигации,

системы обеспечения перевалкой и хранением грузов, системы энергоснабжения судов у стенки) или отдачи в сеть.

Пляж Учкеевка

Территория причала возле пляжа Учкеевки, причал №277. Данная территория ввиду наличия скопления баз отдыха исключает возможность установки ВЭУ на суше, однако наличие якорных стоянки №386 позволяет рассмотреть ее как потенциальную территорию для установки ВЭУ.

Солнечная энергия (возможная территория), исходя из снимков, имеет потенциал как обеспечения собственных нужд, в случае энергосберегающего освещения и офисного оборудования. Интерес представляет, волновой потенциал, на рисунке 3, отчетливо видна волновая активность.

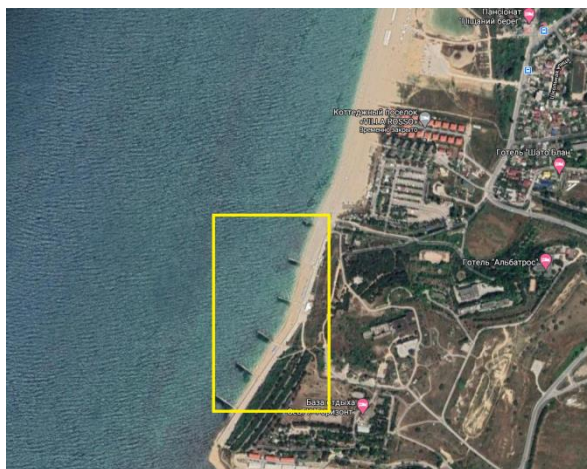


Рис 3. Снимок территории причала возле пляжа Учкеевки

Величина этого потенциала требует дальнейшего анализа с целью оценки энергообеспечения собственных нужд и возможности работы с отдачей энергии в сеть, а также следует рассмотреть возможность создания гибридной ЭС – солнечно-волновой-ветровой (при этом необходимо установить систему накопления энергии). Анализ для ВЭС следует проводить по 3 типам конструкции (буй, осциллирующий водяной столб, водяной змей).

Камышовая бухта

Камышовая бухта является наиболее интересным вариантом для внедрения технологий альтернативных источников энергии.



Рис 4. Снимок бухта Камышовая

Наличие в портовом владении молов позволяет рассматривать их как источник волновой энергии по принципу осциллирующий водяной столб. Само наличия молов говорит о волновой активности, что дает основания для рассмотрения технологий по принципу водяного бúa.

Наличие значительной территории, а также крыши и фасады зданий, позволяет рассматривать территорию также как источник солнечной энергии. Якорная стоянка №389 является потенциальной возможностью для Ветровой ЭУ. Все это вместе дает основание оценивать Камышовую бухту как место для создания гибридной электростанции с условием установки системы накопления энергии.

Исходя из сложившейся геополитической обстановки, неопределенности с дальнейшей судьбой морского порта, имея ввиду судоремонтную, транспортную, промысловую отрасль. Трудно определить перспективные направления в области развития НИЭ в Севастополе. Финансовые вложения в развитие МПС напрямую зависят от разрешения геополитической ситуации, а значит и вложения в НИЭ для нужд МПС также от нее также зависят. А поскольку в обозримом будущем, разрешения не предвидится, то в вопросах финансирования НИЭ можно полагаться на собственные возможности МСП и единичные гранты. В этом случае, более реальные проекты будут связаны с энергией солнца. Волновое и вестровое направление будет целесообразно рассматривать в условиях улучшения финансового климата, ввиду дорогостоящих вложений в разработку, строительство и обслуживание ВЭС.

В следствие различий протяженности береговой черты, инфраструктуры, назначения и состава производственных мощностей основных участков морского порта, реконструкция электроснабжения должна производиться индивидуально для каждого участка, с учетом упомянутых особенностей. Рассматривая возможности энергии солнца, необходимо оценить энергопотенциал одного квадратного метра, для дальнейших предварительных расчетов.

Выводы

Исследование возможности реконструкции электроснабжения морской портовой инфраструктур показало, что ГУПГС "СМП" имеет большую протяженность морского побережья и состоит в основном из шести основных участков: Южный участок побережья, Камышовая бухта, Севастопольская бухта, Южная бухта, Балаклава, Учкеевка. По своим свойствам участки значительно отличаются друг от друга протяженностью, рельефом, инфраструктурой, назначением и составом производственных мощностей. Ввиду того что система электроснабжения не является единой электрической системой то каждый участок рассматривался отдельно друг от друга с учетом своих особенностей. Проанализированы перспективы работы и развития СМП в целом. Определены возможные пути решения экономических проблем ГУПГС "СМП" .

Рассмотрены особенности ЭС на основе НИЭ. Анализ показал, что можно выделить следующие участки как наиболее перспективные для создания гибридной ЭС: Учкеевка, Камышовая бухта, Севастопольская бухта в районе Инкермана. Определены группы потребителей для питания от гибридной ЭС.

Разработана принципиальная электрическая схема гибридной ЭС, основываясь на современных направлениях в развитии НИЭ, и открытой информации ГУПГС "СМП". Рассчитан и приведен ориентировочный электроэнергетический потенциал для солнечных панелей по месяцам на один квадратный метр.

Список использованных источников

1. Шайтор Н.М. Проблемы и перспективы развития электроэнергетики Крымского полуострова. В сборнике: Инновации и наука: проблемы и перспективы, сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017. С 315-321.
2. Гуц Ю.В. Волновая энергетика – перспективный сектор возобновляемых источников энергии /Статья - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016.С.32-35
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский И.Ю. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии –Учеб-пособие М.: Изд-во Спутник,2018. С.180-230.
4. Денисова В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии – учебное пособие/Ростов: Феникс, 2015.С.125-135.
5. Клеутин В.И., Руппель А.А. Задачи системы электроснабжения судна от береговой сети - Статья/Омск, Сибирский государственный университет водного транспорта: Омск ,2016 С.3
6. Истратов Р.А. Повышение эффективности управления перегрузочными процессами в морском порту- Автореферат диссертация/ Мурманский государственный технический университет: Мурманск, 2015.С4-7.
7. Лукутин Б.В., Муравлев И.О, Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями / Изд-во Томского политехнического университета: Томск,2015. С.6-10.
8. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Вестник Иж ГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 100–108.

9. Техничко-экономические аспекты развития автономных солнечных энергетических систем / Какушина Е.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Кузнецов П.Н., Соломенникова С.И.//Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4. № 4. С. 55-60.
10. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении- Учебное пособие/Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.С.139-142

РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

И.С. Ивантеев, М.А. Фисина, Р.Д. Хайбуллин

Использование солнечной энергии для электроснабжения индивидуальных потребителей является одним из путей обеспечения энергетической безопасности Республики Крым и Севастополя. Оно занимает важное место в развитии энергетики полуострова.

Введение

Одной из проблем солнечной энергетики является недостаточный энергетический потенциал падающей солнечной радиации и низкий КПД фотопреобразователей и других солнечных установок. Для повышения эффективности работы данных систем необходимо более полное использование потока энергии, падающего на рабочие поверхности солнечных установок. Непрерывный рост цен на традиционные энергоносители и на электрическую энергию, получаемую, в основном, от сжигания ископаемого топлива, обусловлен, прежде всего, ростом себестоимости добываемого топлива и увеличением затрат на его транспортировку. В то же время наметилась устойчивая тенденция снижения стоимости энергии, получаемой от возобновляемых источников. На данный момент перед нашим государством стоит задача по снижению потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет использования альтернативных источников энергии. В частности этого можно добиться путем внедрения установок по прямому преобразованию солнечной энергии. Использование солнечной энергии занимает важное место в развитии возобновляемой энергетики. Этому способствуют наличие ресурсной и технологической базы, климатические условия, которые позволяют применять солнечные установки в любом регионе России.

Цель работы

Целью работы является исследование возможностей увеличения выработки электрической энергии фотоэлектрической электростанцией, работающей параллельно с общей энергосетью Севастополя.

Общие сведения

Имеющиеся в Крыму солнечные фотоэлектрические станции передают выработанную электроэнергию непосредственно в общую энергосистему. Однако непостоянство потока солнечной энергии приводит к неравномерной выработке энергии этими станциями, и как следствие оказывает негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Также эти электростанции не решают задачу надёжного поставщика электрической энергии для Крыма. Из-за постоянных перебоев с электроснабжением многие потребители в Крыму установили

аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения. В условиях нынешнего положения в сфере электроснабжения Крыма настала пора в срочном порядке устанавливать дополнительные мощности по выработке электрической энергии. Однако все эти меры не предусматривают то, что для эффективной работы этих систем необходимо постоянное энергообеспечение полуострова традиционными энергоресурсами (углеводородами) в размерах, значительно превышающих их средние поставки за последние годы. В условиях не только энергетической, но и транспортной блокады полуострова эти поставки становятся не только дорогостоящими, но и проблематичными. С учетом всего выше сказанного развитие альтернативных (ветровых и солнечных) энергоустановок в Крыму является одной из приоритетных задач. Предлагается для увеличения генерирующих мощностей в Севастополе использовать сетевые фотоэлектрические установки. В отличие от электростанций, используемых традиционные энергоресурсы солнечные станции можно построить в короткий промежуток времени. Солнечные электростанции, в отличие, не только от традиционных электростанций, но и от электростанций, преобразовывающих возобновляемые источники энергии (ветроэлектростанции, геотермальные, приливные, гидроэлектростанции) можно устанавливать в непосредственной близости от потребителя. Это, пожалуй, единственные из известных электростанций, которые можно устанавливать непосредственно в центре густонаселенных городов, для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий. При этом кремниевые фотоэлектрические установки могут иметь достаточно долгий срок службы (при хорошем качестве исполнения и правильной эксплуатации их срок службы может достигать 20-40 лет, а по прогнозам и до 100 лет) [1]. Цены на сами солнечные батареи год от года существенно снижаются. Все это позволяет повысить их конкурентоспособность на рынке электрооборудования. Использование фотоэлектрических установок позволяет также сократить потери электроэнергии на линиях электропередачи, которые по разным оценкам в России составляют от 10 до 20 процентов. Применение солнечных установок, для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей электрической энергией позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся в результате сгорания различных видов топлив на тепловых электростанциях. Использование вместо органических топлив в промышленности и коммунальном хозяйстве солнечных. В работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования электрических характеристик фотоэлектрических модулей, используемых для выработки электроэнергии, а также рассчитаны технико-экономические показатели фотоэлектрической солнечной электростанции, расположенной в г. Севастополя.

Солнечная энергетика

Солнечная энергетика — направление нетрадиционной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде [1-3]. Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи диссертации: анализ электрогенерирующих солнечных станций Крыма с целью определения возможностей увеличения генерации для общей энергосистемы; анализ оборудования фотоэлектрических станций с целью возможности подключения дополнительных генерирующих мощностей; анализ расположения фотоэлектрических модулей на электростанциях в зависимости рельефа местности и установки под различными

и углами к поверхности горизонта с целью увеличения эффективности работы станции; экспериментальное и теоретическое исследование работы сетевых фотоэлектрических батарей в зависимости от различных углов установки; экспериментальная оценка энергетических параметров фотоэлектрических станций для работы на энергосистему Севастополя; технико-экономическое обоснование использования фотоэлектрических солнечных станций для работы на энергосистему Севастополя.

Объект исследования – фотоэлектрические модули, используемые на солнечных электростанциях, электрическое оборудование фотоэлектрических станций, а также их вспомогательного оборудования используемых для передачи электроэнергии.

Предмет исследования – электрические, энергетические и технико-экономические характеристики фотоэлектрических модулей и фотоэлектрических станций. Производство энергии с помощью солнечных электростанций хорошо согласовывается с концепцией распределённого производства энергии.

Достоинства этого вида энергии: общедоступность и неисчерпаемость источника; теоретически, полная безопасность для окружающей среды, хотя существует вероятность того, что повсеместное внедрение солнечной энергетики может изменить альбедо (характеристику отражательной (рассеивающей) способности) земной поверхности и привести к изменению климата (однако при современном уровне потребления энергии это крайне маловероятно).

Недостатки: зависимость от погоды и времени суток; как следствие необходимость аккумуляции энергии; высокая стоимость конструкции; необходимость периодической очистки отражающей поверхности от пыли.

"Перевозчик" солнечной энергии - излучение. Оно состоит из видимых световых лучей и невидимого ультрафиолетового и инфракрасного излучения. За год на Землю приходит 1018 кВт.ч солнечной энергии. Видимые световые лучи имеют длину волны от 0,4 м. до 0,8 м., длина волны ультрафиолетовых лучей меньше 0,4 м., а инфракрасных - больше 0,8 м. Примерно 9% солнечного излучения лежит в полосе теплового излучения. Солнце, ярко светящийся газовый шар, состоит в основном из водорода (70%) и гелия (27%). Энергия - это результат термоядерных реакций. При этом Солнце теряет миллионы тонн своей массы каждую секунду [4]. Интенсивность излучения на поверхности Солнца 70-80 тыс. кВт/м² при температуре 6000° С. Наша Земля получает небольшую, но значительную часть этой энергии - приблизительно 180000 млрд. кВт. Это примерно в 18 тыс. раз больше, чем то количество энергии, которое человечество выработало к сегодняшнему дню на всей Земле.

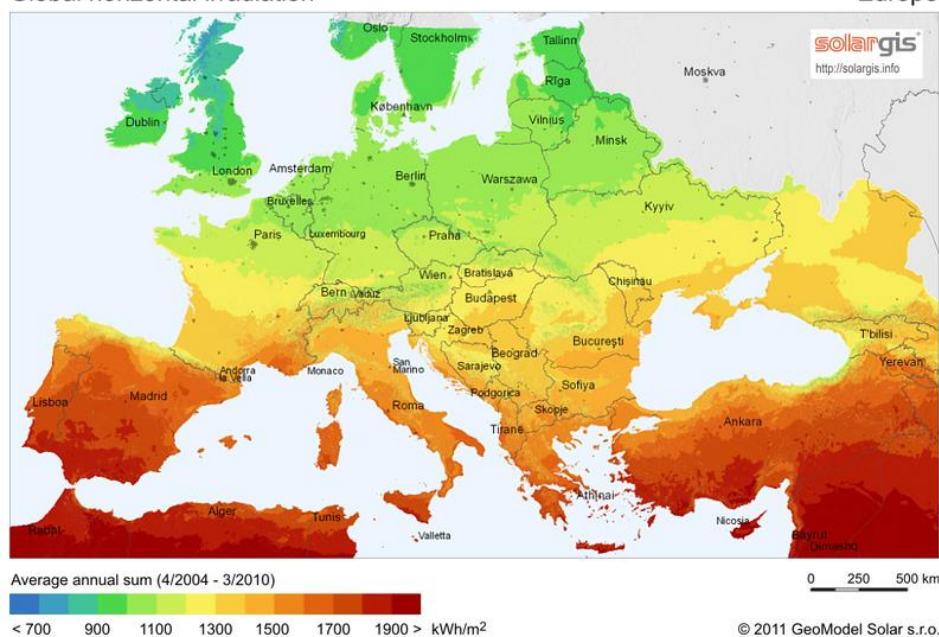


Рис. 1. Карта распространения солнечной радиации

За пределами земной атмосферы поток излучения составляет 1394 Вт/м^2 , или 2 кал/см^2 в мин. Эта величина называется солнечной постоянной. Проходя через атмосферу, огромное количество этого излучения (30-40%) рассеивается, и поверхность Земли на уровне моря в ясный день получает $0,855 \text{ кВт/м}^2$ - 1 кВт/м^2 прямой радиации. Естественно, что часть (около 50%) рассеянного в атмосфере света достигает поверхности Земли также в виде энергии.

Продолжительность солнечного излучения и его интенсивность зависят от времени года, погодных условий и, конечно, от географического положения местности. Около 25% поверхности Земли получает солнечный свет, т. е. прямое солнечное излучение, в течение всего дня. В большинстве стран продолжительность действия прямого солнечного света и интенсивность излучения измеряются десятками дней. Для технических расчетов пользуются среднегодовыми показателями, из которых выводятся средние величины для каждого часа дня и каждого месяца.

Эти величины определяются отдельно для горизонтального и различного образа ориентированных вертикальных поверхностей. Пользуясь такими данными, можно получить соответствующие значения эффекта радиации для каждого часа дня.

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.

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. Такие установки можно с уверенностью отнести к новому классу гелиотехники – термофотоэлектрические солнечные установки. Эти установки одновременно преобразуют всю падающую на них солнечную

радиацию в тепло и электроэнергию, т.е. одновременно нагревают теплоноситель и являются электрическим генератором постоянного тока. Использование комбинированных теплофотоэлектрических установок дает заметную экономию материалов для их изготовления на единицу мощности, увеличивает их суммарный коэффициент преобразования (КП) и эффективность использования. Это объясняется тем, что абсорберы тепловых гелиосистем и фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей преобразуют различные длины волн солнечного спектра, поэтому с одной рабочей поверхности можно получать как тепловую, так и электрическую энергию [2]. 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.

В работе была предложена и исследована комбинированная термофотоэлектрическая (теплофотоэлектрическая) установка (ТФЭУ), созданная на основе полноразмерного промышленного гелиопрофиля, встраиваемого в кровлю зданий, с воздушным и жидкостным теплоносителями, покрытого серийными солнечными элементами. Установка используется для преобразования широкого спектра электромагнитного солнечного излучения, с одновременной выработкой с одной рабочей поверхности комбинированного абсорбера тепловой и электрической энергии. В магистерской работе автором были предложены проекты использования представленной установки для обеспечения тепловой и электрической энергией коммунального сектора города Севастополя и его пригородных территорий. Также была применена модель расчета технически возможного потенциала солнечной энергии для всех крыш города Севастополя. Модель, полученная с помощью аэрофотосъемки, показывает, сколько возможно использовать площадей для обеспечения целого города тепловой и электрической энергией. Солнечные установки предложено располагать на крышах города, а согласно расчетам, полученным в результате моделирования, получены мощностные и энергетические характеристики гелиоустановок.

Для получения положительных результатов необходимо провести исследования работы сетевой солнечной электростанции для обеспечения потребителей электрической энергией в г. Севастополе.

Выводы

В результате проведенной работы получена практическая возможность обеспечения коммунальных потребителей электрической энергией путем установки фотоэлектрических станций в Севастополе. В ходе работы получена практическая возможность использования промышленных солнечных установок для обеспечения Севастопольского региона дополнительными генерирующими мощностями. На основе экспериментальных данных получена возможность значительно повысить выработку электрической энергии фотоэлектрическими станциями за счет использования оптимальных углов установки модулей. По результатам проведенной работы показана практическая возможность использования электростанций на основе возобновляемых источников энергии в курортном регионе, с целью значительного снижения уровня вредных выбросов в атмосферу и увеличения экологической безопасности региона.

Список использованных источников

1. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский И.Ю. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии / Учебное пособие М.: Изд-во Спутник, 2018. С.180-230.
2. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Солнечная энергетика/Учебное пособие М.: Изд-во Спутник, 2018. С.57-64.
3. Денисова В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Учебное пособие/Ростов: Феникс, 2015.С.125-135
4. Техничко-экономическис аспекты развития автономных солнечных энергетических систем / Какушина Е.Г., Якимович Б.А.,Кувшинов В.В., Кузнецов П.Н.,Соломенникова С.И.//Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4. № 4. С. 45-60.

АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

С.Г. Ерофеев, И.В. Симонов

В современном машиностроении и электроэнергетике используется несколько типов аккумуляторных батарей (АКБ). Для прогрессивного развития машиностроения предстоит выбрать и проанализировать, какие из них лучше модернизировать. В данной статье представлены основные виды перспективных (прогрессивных) АКБ.

Введение

Длительность службы аккумулятора зависит от температурного режима эксплуатации, утечек тока, типа аккумуляторной батареи, его ёмкости, исправности системы зарядки (при зарядке от внешнего источника питания), от режима езды при его установке на автотранспортном средстве, качества его исполнения и прочего. Дegradaция батареи электромобиля происходит нелинейным способом (рис.1). Дegradaция батареи электромобиля – это естественный процесс, заключающийся в уменьшении объема заряда, который батарея способна хранить и выдавать [1]. Обычно, аккумуляторы электромобилей могут выдавать больше мощности, чем нужно силовому агрегату, поэтому деградация проявляется в основном, как снижение ёмкости (со временем батарея способна хранить всё меньше и меньше энергии).

Где ось X – количество циклов разряда и заряда,

Y – степень работоспособности аккумулятора (остаточная емкость) (%)

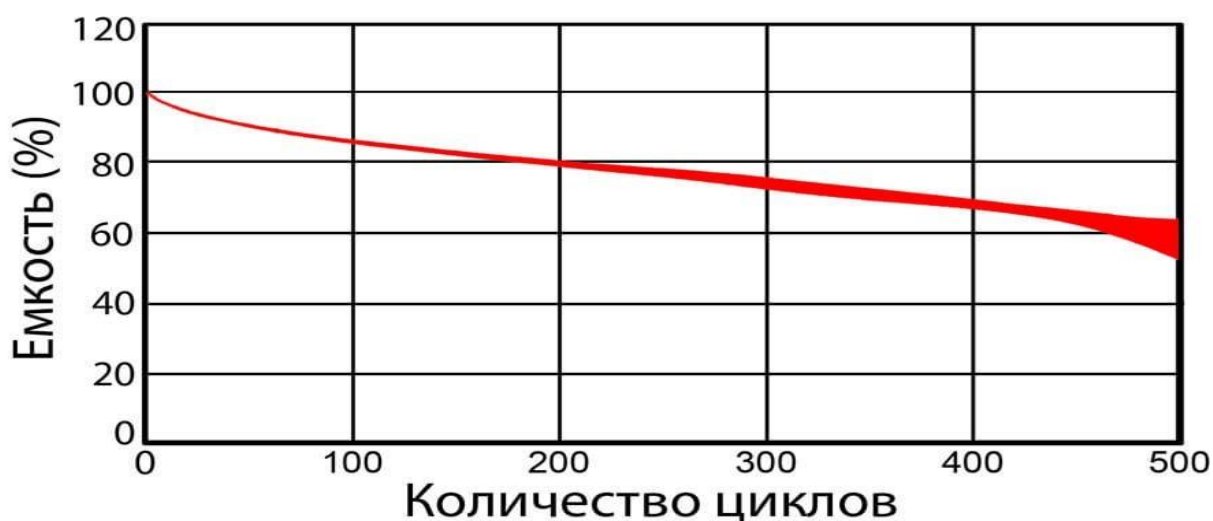


Рисунок 1. Кривая деградации батареи

Цель работы

Целью данной работы является определение методов повышения эффективности современных типов АКБ. Описание конструкции и особенностей лучших типов аккумуляторных батарей, даст понятие дальнейшего развития электротехники и электромобилестроения.

Перспективные типы аккумуляторных батарей

Аккумуляторные батареи — самая дорогая, большая и тяжелая деталь машины. В большинстве случаев она располагается в днище авто и занимает практически всю его площадь, масса её до 500 кг. АКБ для электромобилей состоят из нескольких тысяч ячеек разного вида. В настоящее время, для электромобилей в основном применяют такие типы батарей как: литий-ионные, литий-полимерные, литий-железо-фосфатные, алюминий-ионные, литий-серные, металл-воздушные, но особого внимания заслуживают: литий-никель-кобальт-оксидная батарея, графеновый ультраконденсатор (компании Nawa Technologies) и твердотельные батареи.

Литий-ионная АКБ, к которым и относится литий-никель-кобальт-оксидные батареи (LiNiCoAlO_2 с 80% никеля, 15% кобальта, 5% алюминия), состоит из анодного материала (на медной фольге) и электродов (катодного материала на алюминиевой фольге), разделённых пористым сепаратором [2], пропитанным электролитом.

Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов (например в графит, окислы и соли металлов) с образованием химической связи, например: в графите с образованием LiC , оксиде (LiMnO) и соли (LiMnRON).

Большинство современных электромобилей оснащено источниками литий-ионной энергии данного типа. Литий, в чистом виде, в конструкции отсутствует, так как он слишком активен и как следствие, пожаро и взрывоопасен. В нынешних источниках энергии используется его соединение с кобальтом. При зарядке ионы лития перемещаются по электролиту из катода в угольный анод, под нагрузкой происходит обратный процесс. Однако катод не восстанавливается полностью, в нем накапливаются окислы и емкость батареи падает. Ее уменьшение на 30 % считается полной потерей работоспособности. В зависимости от постоянства эксплуатации на это требуется 2–10 лет, или 500–2000 циклов заряда-разряда.

Достоинства:

- Нет «эффекта памяти», вследствие чего отпадает необходимость «тренировки» аккумулятора несколькими циклами перезарядок.
- Плотность накопленной энергии — до 400 Втч/кг.
- Достигаемое напряжение выше, чем у других типов АКБ.
- Саморазряд не более 6 % в месяц и 20 % в год.
- До 1000 циклов перезаряда.
- Время эксплуатации — до 10 лет.

Недостатки:

- Узкий температурный диапазон от -20 до $+50$ °C. Резкое снижение емкости на морозе, при жаре работа АКБ нестабильна.

- Опасность пожара и взрыва при разгерметизации ячеек, авариях, ударах

Методы модернизации:

- Снижение объема кобальта. Это позволит увеличить экологичность батарей, а также снизить зависимость от дорогого и редкого элемента. Пока рассматриваются 3 вида батарей без кобальта: никелевые, никель-марганцевые или литий-железо-фосфатные.
- Замена графитного анода на кремниевый. Который позволит заряжать литий-ионные батареи в 16 раз быстрее и повысит её ёмкость в 10 раз, чем у тех батарей, которые сейчас находятся в эксплуатации.
- Новый способ упаковки ячеек. В батареях автомобилей Tesla [5] вместо так называемого язычка – специального контакта для соединения батареи и потребителя, для проведения тока в новых элементах используется лазерный спиралевидный узор (Рис. 2). Это помогло сократить длину электрического пути с 250 мм до 50 мм, уменьшить сопротивление тока и как следствие, снизить нагрев элементов АКБ. Результат – больший срок службы самой батареи и меньшие затраты на её производство.

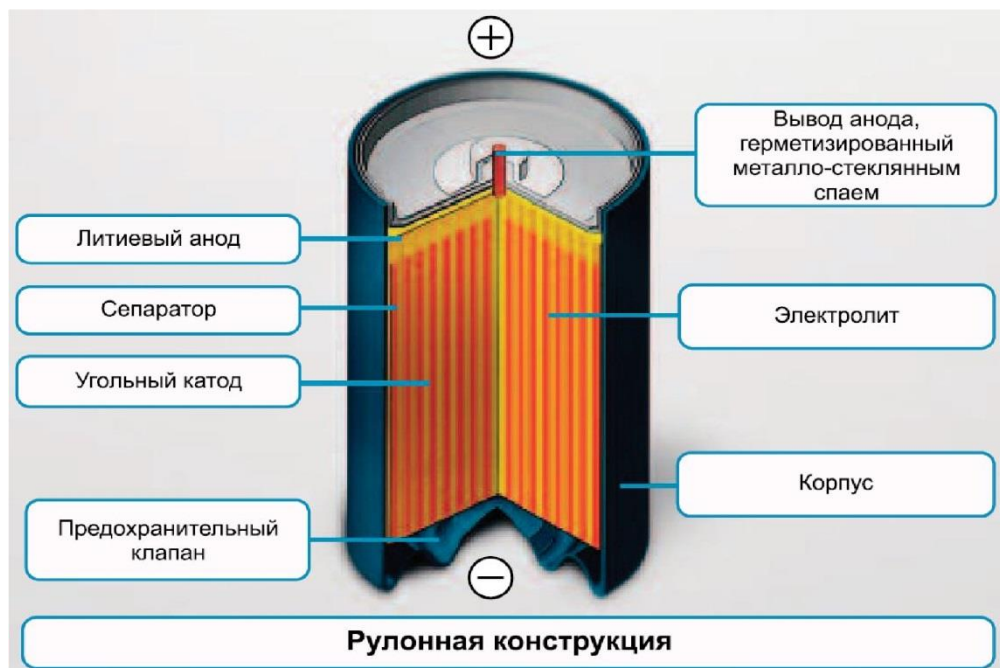


Рисунок 2. Инновационная АКБ Tesla Battery 4680

Графеновый ультраконденсатор, от компании Nawa Technologies.

Графен - это состоящий из атомов углерода, соединенных в виде проволоочной сетки двумерная аллотропная модификация углерода, который лежит в основе графита и фуллеренов [3]. Основан принцип действия ультраконденсатора на разделении атомов и создание из них углеродных, вертикально ориентированных нанотрубок (Рис.3), составленных из графена и карбона. Однако точные характеристики и метод устройства аккумулятора засекречены, т. к. это коммерческая тайна. Скорость зарядки-разрядки увеличилась в 1000 раз по сравнению с литий-ионной батареей [4], зарядить батарею можно за несколько секунд, и она выдержит миллионы таких циклов. Из-за этого её плотность и

мощности вчетверо меньше литиевых аналогов и вся система не отличается стабильностью – в сутки может «терять» 10-20 % накопленного заряда.

Суперконденсаторы очень эффективны при приеме или передаче значительного количества энергии, что делает их подходящим дополнением для батарей. Первичные источники энергии, такие как топливные элементы и батареи, хорошо работают в качестве непрерывного источника малой мощности, но не могут эффективно справляться с пиковыми потребностями в энергии или моментально улавливать энергию. Обычные АКБ разряжаются и перезаряжаются достаточно медленно. Суперконденсаторы обеспечивают быстрые выбросы энергии при пиковых потребностях в энергии, а затем быстро накапливают энергию и улавливают избыточную мощность, которая без их использования попросту теряется. Электромобиль с применением суперконденсатора может обеспечить необходимую мощность для ускорения, когда как батарея обеспечивает дальность и перезаряжает суперконденсатор между скачками напряжения.

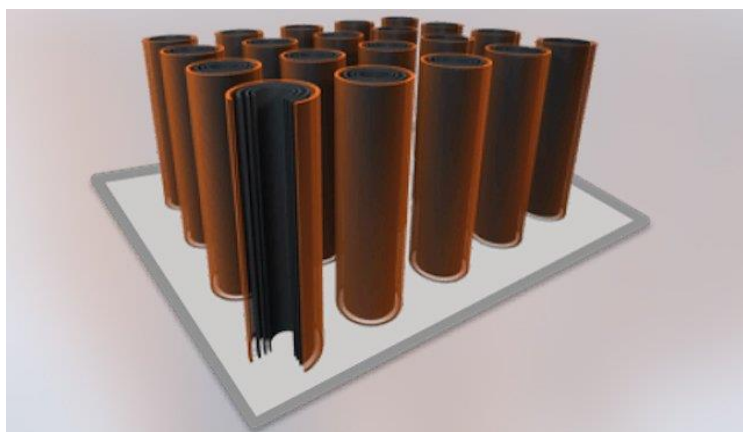


Рис.3 Углеродные нанотрубки графеновых ультраконденсаторов.

Преимущества:

- Скорость заряда и разряда до 1000 раз быстрее по сравнению с батареями. Зарядке всего автомобильного аккумулятора за считанные секунды, это в несколько раз быстрее заполнения бака ископаемым топливом.
- Исключительно долгий срок службы - до миллиона циклов зарядки. Так как в нем бурная химическая реакция не протекает, а просто происходит физическое разделение протонов и электронов, сверхбыстрая зарядка не вызывает нагревания или набухания батареи.
- Экологические преимущества. Экологичность проекта заключается в том, что в производстве не используется литий, кобальт, редкоземельные металлы, которые загрязняют окружающую среду и очень сложно добывать. В суперконденсаторах используются только углерод и алюминий.

Недостатки:

- Имеют меньшую плотность энергии, чем лучшие литиевые аккумуляторы. Следовательно, имеют значительно большие размеры чем современные литиевые АКБ.

- Саморазряжаются при длительном хранении. Теряет около 10-20 % энергии в сутки.
- Высокая стоимость, за счёт наличия графена.
- Методы модернизации:
- Комбинация ультраконденсатора с классической литий-ионной батареей.
- Поиск новых способов получения большого количества графена по низкой цене.

Твердотельный аккумулятор - это аккумулятор, содержащий слой твердого электролита между слоем катодного активного материала и слоем анодного активного материала. Твердотельные батареи являются разработкой, находящаяся на стадии исследований. Плотность энергии клеток аккумулятора данного типа увеличивается за счет твердой природы вещества [6], что позволяет хранить больше энергии на килограмм батареи. Он состоит из двух металлических пластин: положительно заряженного катода и отрицательно заряженного анода. Пространство между ними заполнено литиевой солью – электролитом [8], позволяющим частицам металлов передвигаться. Когда батарея заряжается, движение происходит от катода к аноду, когда разряжается – в обратную сторону. Анод включает в себя анодный активный материал, состоящий из смеси металлического лития и сажи.

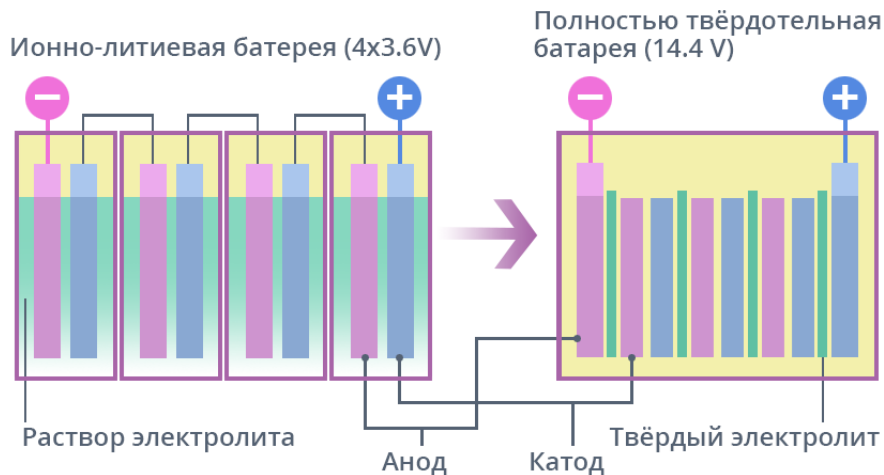


Рис.4 Разница размера литий-ионной и твердотельной батареи.

Преимущества:

- Компактность. Размер твердотельной батареи (Рис.4) в полтора раза меньше литий-ионной.
- Безопасность, отсутствуют легковоспламеняющиеся и токсичные жидкости, и они не выделяют столько тепла, сколько обычные аккумуляторные батареи.
- Более экологичны по сравнению с большинством АКБ, поскольку нет токсичных веществ.
- Более быстрая зарядка. Согласно последним исследованиям, твердотельная батарея может превосходить обычные перезаряжаемые батареи на 500% и больше с точки зрения мощности, и а также заряжаться в десятки раз быстрее. Это означает, что полная зарядка электромобиля до 80% займет 15 минут.
- Энергетическая емкость. Литий-ионные батареи в настоящее время имеют самую высокую плотность энергии среди всех типов батарей. Тем не менее, он по-прежнему

во много раз менее плотен, чем бензин. Твердотельные батареи же должны увеличить плотность энергии более чем в два раза, на единицу объема.

Недостатки:

- Очень высокая стоимость внедрений и исследований. Основное количество автомобилей по-прежнему использует жидкие батареи. Технология их производства давно оптимизирована и отработана, а производственных мощностей в мире более чем достаточно. Всего этого нельзя сказать о твердотельном аккумуляторе. Для его массового изготовления требуется создание полного цикла производства. Поэтому его себестоимость слишком велика.
- Неустойчивая работа при низких температурах.

Методы модернизации:

Поиск лучших материалов, подходящих для изготовления твёрдой сердцевины. Вариантов достаточно много, каждый имеет свои преимущества, но нередко недостатки их нивелируют или даже перевешивают. Именно поэтому поиск оптимального варианта продолжается. Наиболее перспективным на сегодняшний день является вариант с применением серы, выступающая в качестве катода, и лития (или одного из его сплавов) в качестве анода. В этом случае электролитом станет какой-либо сульфид. Такой вариант устройства позволит повысить плотность энергии минимум в два раза. Однако сульфидно-литиевая батарея обладает серьёзным недостатком, она пожароопасна.

Заключение

Источники питания экологически чистого транспорта пока еще несовершенны и слишком дороги для массового покупателя. Окончательная победа электрокаров над автомобилями с ДВС настанет только тогда, когда их стоимость уравнивается.

Перечисленные выше виды АКБ не исчерпывают перспективные направления развития источников питания. Впереди доводка до коммерческих образцов литий-никель-кобальт-оксидных батарей, графеновых ультраконденсаторов и твердотельных аккумуляторов для электромобиля. Перспектива разработки современных аккумуляторов для электромобилей движется в направлении совершенствования твердотельных аккумуляторов, так как те имеют в свою очередь большее количество преимуществ. Несмотря на высочайшую затратность, ведущие мировые автоконцерны продолжают вести разработки по созданию твердотельных батарей. Так, инженерная группа «Самсунг» планирует начать массовое производство твердотельных батарей примерно к 2025 году. Представители концерна «Тойота» анонсировали начало широкомасштабного внедрения твердотельных аккумуляторов для электромобилей к 2023 году.

Предприятия КНР, для массового производства твердотельных батарей, начали строить ещё в 2014 году в городе Куньшань. На сегодняшний день в развитие производства вложено более 1 млрд юаней. Над упорным созданием и внедрением в автоэлектропромышленность ещё с 2018 года начали работать компании Toyota и Volkswagen.

Список использованных источников

1. Дубинина И.В. Проблематика аккумуляторных батарей электромобилей. В сборнике: Перспективные этапы развития научных исследований: теория и практика. 2018. С. 189-191.

2. Еварестов В.М., Максимов В.А., Поживилов Н.В. Разработка рекомендаций по эксплуатации тяговых аккумуляторных батарей московских электробусов. /В сборнике: Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта. Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. 2021. С. 33-41.
3. <https://naukatehnika.com/grafenovyye-superkondensatoryi-litievaya-batareya.html>
4. Журавлев В.В., Дудаков В.Б., Бланк В.Д., Герасимов В.Ф., Журавлева Н.В. Способ получения графена, плёнок и покрытий из графена. Заявка № 2017105460 от 21.02.2017.
5. <https://hightech.plus/2020/07/31/panasonic-uvlechit-emkost-novih-akkumulyatorov-tesla-na-20>
6. www.e-cars.tech
7. <https://findpatent.ru/patent/268/2684168.html>
8. Твёрдый электролит, полностью твердотельный электролит аккумулятора и способ получения твёрдого электролита. Заявка № 2019113527 от 06.05.2019.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНА

А.А. Скориков, Л.И.Лукина

В настоящее время одной из актуальных проблем питания является дефицит антиоксидантов, которые защищают клетки организма от воздействия радикалов и активных форм кислорода, образуемых в организме при стрессах, метаболизме чужеродных соединений липотропной природы, при действии радиации. Одним из ключевых микроэлементов, участвующих в обеспечении функционирования ферментативной антиоксидантной системы организма, является селен, который незаменим в питании человека и животных. В данной работе сделан анализ его антиоксидантных свойств.

Введение

Селен является эссенциальным, жизненно важным микроэлементом, незаменимым в питании человека и животных. Он обладает широким спектром биологических свойств. Особое внимание уделяется его антиоксидантным свойствам после того, как английский биохимик А. Диплок в 1970 году открыл селенсодержащий фермент глутатионпероксидазу, регулирующий антиоксидантное состояние организма [1]. В живых организмах имеется ряд Se-содержащих и Se-зависимых ферментов, таких как глутатионпероксидаза GP; глутатионредуктаза GR, дейодиназа и др. Дефицит селена в организме человека ведёт к снижению иммунитета, повышению риска сердечно-сосудистых, онкологических и ряда других заболеваний. Однако и высокий уровень селена в организме опасен, так как вызывает селеноз, который сопровождается выпадением волос и ногтей, их деформацией. Особенностью токсикологии селена является очень тонкая грань между оптимальными для питания и его потенциально токсичными концентрациями [2]. Поэтому для нормального физиологического функционирования организма необходимо поступление дозированных количеств селена в организм с пищей.

Источником селена в обычном питании человека являются различные продукты животного и растительного происхождения, в которые селен поступает по пищевым цепям из почвы. Проблема селенодефицита является актуальной. Этот химический элемент требует серьезного внимания при формировании рационов питания и в профилактике ряда заболеваний.

Цель работы

Целью данной работы был анализ антиоксидантных свойств селена

Задачи работы:

- анализ литературных данных по особенностям миграции селена в природе, биологическим свойствам селена;
- изучение имеющихся рекомендаций по суточной норме селена в пищевом рационе;
- практические рекомендации по профилактике селенодефицита

Особенности миграции селена в природе

Селен является аналогом серы, имеет переменную валентность, может существовать в степенях окисления: Se^{-2} , Se^{-1} , Se^0 , Se^{+4} , Se^{+6} . Это анионогенный элемент. Наиболее распространены соли селенистой кислоты – селениты (SeO_3^{2-}) и соли селеновой кислоты селенаты (SeO_4^{2-}). Все соединения селена аналогичны по свойствам соединениям серы, но процессы его миграции в биосфере менее интенсивные, чем для серы.

Подвижность и биологическая доступность неорганического селена в почвенной среде регулируются кислотностью и ред/окс потенциалом и возрастают с увеличением их значений. Т.к. селен легко взаимодействует с металлами, его подвижность в почве возрастает с уменьшением содержания соединений алюминия, железа, кальция, а также глинистых частиц. Миграция селена в вертикальном профиле почв зависит от содержания органики.

По распространенности в земной коре селен занимает 68 место и является высоко рассеянным элементом. Кларк селена в литосфере по Виноградову составляет 50мкг/кг.

Являясь аналогом серы, селен распространен в сульфидных минералах (пиритах, сфалерите, халькопирите и др.), а также в вулканических породах.

Известно более 50 микроминералов селена, большинство из них встречается в очень малых количествах. В эпитеpmальных рудах селен связан с золотом, серебром. В гидротермальных рудах он кристаллизуется в виде селенидов металлов (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Fe, Ni, Co, Bi и U) [1].

Селен, являясь полупроводниковым элементом, широко используется в электронной промышленности, применяется в металлургии, стекольной промышленности, медицине, сельском хозяйстве. Поэтому антропогенное загрязнение биосферы селеном вносит свой вклад в глобальную эмиссию селена. Причем происходит процесс увеличения вклада техногенного источника попадания селена в окружающую среду. Так, в середине 20 в. общемировая добыча селена составляла 1,6 тыс. т/год, в настоящее время она составляет до 70 тыс. т/год, тогда как природная составляющая за счет выветривания пород, вулканической деятельности оценивается в 0,4 тыс. т/год [1].

На Земле есть регионы с так называемыми «селеновыми» почвами, в которых высокие содержания селена (Ирландия, Северо-Восточный Китай, Юго-Запад США). Однако большинство территорий нашей планеты являются селенодефицитными провинциями. Так, вся зона Нечерноземья Центральной России, простирающаяся через Урал, всю Сибирь до восточных границ России относится к провинциям с дефицитом селена. Наиболее характерными почвами в Нечерноземье являются подзолистые, дерново-подзолистые болотные почвы.

Подвижность селена в цепи почва-растение зависит от наличия водорастворимых и обменных форм этого микроэлемента в почве.

Биологическая роль селена

Биологическая роль селена изучена достаточно хорошо. Известно, что высокие дозы селена, поступающие в организм, вызывают острое отравление, приводящее к смерти. Повышенные количества селена, поступающие в течение определенного времени, вызывает хронический селеноз – патологическое состояние, характеризующееся потерей массы тела, снижением репродуктивной способности, уродствами у потомства, развитием катаракт [1,2]. У животных селеноз сопровождается выпадением перьев, волос и когтей, болезнями копыт, суставов, нарушением репродуктивной функции.

Дефицит селена в пище ведет к мышечной слабости, снижению роста, аппетита, бесплодию, наблюдается иммунодефицит, высокая восприимчивость к инфекциям. Глубокий

селенодефицит является причиной болезни Кешана – специфической эндемической кардиомиопатии и болезни Кашина-Бека – остеоартропатии [2].

Важную роль селен играет в биогеохимии и метаболизме йода. Известно, что недостаток селена ведет к йододефициту и таким заболеваниям, как эндемический зоб и кретинизм.

Эссенциальность селена обусловлена тем, что в микроколичествах он необходим для нормального функционирования организма, т.к. входит в состав селенсодержащих белков – селенпротеинов, которые обнаружены у всех живых организмов. Часть селенпротеинов ещё не описана. Однако селенсодержащие ферменты, такие как глутатионпероксидазы, тиоредоксинредуктазы, йодтирониндейодиназы, проявляющие антиоксидантные свойства, хорошо изучены.

К селенпротеинам относятся белки, в состав которых входят один или несколько остатков селеноцистеина, являющегося селеносодержащей аминокислотой (Se-Cys). Среди описанных селенпротеинов имеется 5 глутатионпероксидаз и 3 тиоредоксинредуктаз.

Глутатионпероксидазы (ГП) — ферменты, защищающие организм от окислительного повреждения. Они катализируют реакции восстановления: гидроперекисей липидов в спирты и перекиси водорода до воды.

Тиоредоксинредуктаза (TrxP) является центральным компонентом тиоредоксиновой системы, катализирует восстановление тиоредоксина, который связан с ДНК, защищая его от окислительного повреждения [3].

Йодтирониндейодиназы – ферменты катализирующие активации и деактивации гормонов щитовидной железы [4].

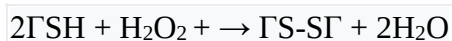
Для нормального физиологического функционирования организма необходимо поступление дозированных количеств селена в организм с пищей.

Особенностью экотоксикологии селена является очень тонкая грань между физиологически необходимыми и потенциально опасными концентрациями элемента, т.е. между эссенциальностью и токсичностью, что делает селен потенциально опасным элементом, нахождение которого в окружающей среде в избыточном количестве может иметь серьезные экологические последствия для биоты и человека [5].

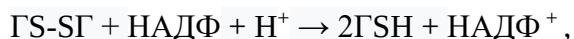
Антиоксидантная активность глутатионпероксидазы

Действие селена как антиоксиданта подробно рассмотрено в работе [6]. Антиоксидантные свойства селена обусловлены тем, что он входит в состав фермента глутатионпероксидазы (ГП), который участвует в разложении и детоксикации перекиси водорода и других гидропероксидов, в т.ч. липидных. Он участвует в защите мембран клетки и её органоидов от продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Глутатион (Г) – трипептид, образованный аминокислотами цистеином, глутаминовой кислотой и глицином. Он присутствует в организме как в окисленной форме Г–S–S–Г, так и в восстановленной форме Г–SH. Глутатион представляет собой основной клеточный фонд мобильных сульфгидрильных групп –SH, составляющих конкуренцию активным формам кислорода, таким как супероксид анион радикал $O_2^{\cdot-}$ и перекись водорода H_2O_2 . Активные формы кислорода в виде радикалов, перекисей образуются в живых организмах при действии ионизирующего излучения, стрессах, попадании в организм липотропных ядов. При катализе ферментом ГП разложения перекиси водорода и гидроперекисей сначала образуется восстановленный глутатион:



Далее ГП катализирует восстановление окисленного глутатиона:



где НАДФ – кофермент фермента ГП.

Таким образом, селен, поступивший в организм в составе органических и неорганических веществ, индуцирует и усиливает активность ГП, которая защищает мембраны, а значит и саму клетку от активных форм кислорода.

Теоретические соображения наводили ученых на мысль, что соединения, в которых селен заменяет серу, могут быть радиопротекторами – радиозащитными веществами. Но, ввиду токсичности и нерастворимости большинства соединений селена, его протекторные свойства долгое время не проявлялись. И лишь с обнаружением его исключительно важной роли в качестве глутатионсодержащих и других ферментов был обнаружен механизм его радиозащитного действия в виде жизненно важных антиоксидантов. В настоящее время растворимые соединения селена широко применяются как необходимые пищевые добавки и препараты, обладающие противоопухолевыми, антистрессовыми, нормализующими обмен веществ свойствами.

На активность ГП кроме селена влияет поступление жирорастворимых витаминов А, Е и водорастворимого витамина С, которые способствуют усвоению селена. Селен и витамин Е активируют превращение метионина в цистеин, что улучшает синтез глутатиона. Г и ГП превращают образующиеся при перекисном окислении липидов липоперекиси в менее токсичные оксикислоты, которые в дальнейшем могут метаболизировать в исходные липиды. Другими словами, они участвуют в процессах репарации биомолекул, входящих в мембраны клетки и способствуют её выживанию. Кроме того, перечисленные витамины являются прекрасными «ловушками радикалов» [7].

Профилактика селенодефицита

Коррекция Se-статуса осуществляется посредством микроудобрений и пищевых добавок [1]. Существуют рекомендации по суточному потреблению селена (табл.1).

Таблица 1. Рекомендуемые количества потребления селена, мкг/сут.

Страна	Женщины	Мужчины
Все страны	30	40
Австралия	70	85
Англия	60	75
Европа	55	55
Канада	50	50
РФ	63	63
США	55	70

Для России установлена потребность в селене для взрослого человека, равная 63 мкг в сутки. Эффективность применения препаратов селена определяется уровнем содержания селена в кормах и продуктах питания и контролируется по концентрации микроэлемента в крови.

Существуют различные пути коррекции содержания селена в организме [1]:

- из природных источников (продукты животного происхождения – печень, почки; морские продукты – водоросли, рыба; высшие грибы);
- лечебные и витаминные препараты;
- агрохимическое обогащение растений: зерновые (пшеница), зелень (укроп), овощи (редис, чеснок) и т.п.;
- селен – содержащие БАДы (Se-дрожжи, Se-спирулина, Se-витасил, Неоселени др.)

В настоящее время считается, что наиболее эффективным способом коррекции селенового статуса является внесение соединений селена в почвы.

Основными поставщиками серы в организм являются животные и растительные белки, которые содержатся в мясе, яйцах, рыбе, сыре, бобовых, крупах. Из натуральных продуктов основным поставщиком селена является чеснок и другие растения, имеющие чесночный запах. Например, произрастающая в Сибири и на Дальнем Востоке черемша, или тибетская трава джу-сай – многолетнее растение из семейства луковичных, имеющее нежные зеленые листья со сладковатым вкусом и слабым чесночным запахом, которые употребляются в пищу в свежем виде и после кулинарной обработки [7].

Выводы:

1. Селен обладает широким спектром биологической активности. Экотоксикологическая особенность селена состоит в том, что он, являясь эссенциальным, жизненно необходимым, в повышенных дозах токсичен. Для нормального физиологического функционирования организма необходимо поступление дозированных количеств селена с пищей.
2. Одним из важных свойств селена является его антиоксидантная активность. Входя в состав селен-содержащих ферментов, таких как глутатионпероксидаза, он защищает клетку от активных форм кислорода, образуемых при облучении, стрессах, поступлении в организм жирорастворимых ядов.
3. Селен относится к рассеянным элементам. Есть регионы, где в почвах ощущается его недостаток. При дефиците селена в почвах должна осуществляться коррекция его поступления в организм по пищевым цепям, дополнительное введение, например, в виде биодобавок.

Список использованных источников

1. Ермаков, В.В. Биогеохимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека [Электронный ресурс] / В.В. Ермаков // Вестник Отделения наук о Земле РАН. Электронный научно-информационный журнал. – 2004. – №1(22). – С. 1–17. – Режим доступа : <http://web.ru/conf/khitariada/1-2004/scpub-4.pdf>.
2. Голубкина Н. А. Прогнозирование уровня обеспеченности селеном населения России и Украины по содержанию микроэлемента в зерне пшеницы // Экология моря. 2000. Вып. 54. С. 57 – 61.
3. Тиоредоксинредуктаза - https://ru.qaz.wiki/wiki/Thioredoxin_reductase
4. Йодтирониндейодиназа - https://ru.qaz.wiki/wiki/Iodothyronine_deiodinase
5. Капитальчук М. В., Капитальчук И. П., Голубкина Н. А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва – растения – человек» в условиях Молдавии/ В.М. Капитальчук и др.// Поволжский экологический журнал. - 2011. - №3.- С. 323 – 335.

6. Барабой В.А., Шестакова Е.Н. Селен: биологическая роль и антиоксидантная активность // Укр. біохім. журн. — 2004. — 76(1). — С. 23—32.
7. Лукина Л.И. Биологическое действие ионизирующего излучения и механизм химической радиозащиты – Севастополь, СИЯЭиП. – 2002. – 124 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ПРОИЗВОДСТВА ВИНА НА ЗАВОДЕ «УСАДЬБА ПЕРОВСКИХ»

Д.С. Вишнякова, Л.И. Лукина

Одна из самых глобальных проблем человечества – загрязнение воздуха. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносят производственные предприятия. При этом главной причиной выступают устаревшие технологии производства и большая концентрация предприятий в пределах маленьких площадей или одной территории. Для того, чтобы предотвратить загрязнение воздуха в районе производств, необходимо выявлять источники загрязнения и контролировать их воздействие на окружающую среду. Проведена инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на винзаводе «Усадьба Перовских».

Введение

Проблемы производственных выбросов и их влияния на окружающую среду являются одними из важнейших проблем экологии. Изменение состава атмосферного воздуха может привести к необратимым последствиям, изменениям химического состава воздуха и разрушению озонового слоя, что впоследствии может привести к экологической катастрофе.

На данном этапе развития человеческого общества, в результате интенсивного развития промышленности сложилась критическая ситуация из-за загрязнения биосферы. Ввиду срочной необходимости принятия мер по снижению вредного воздействия промышленных производств на окружающую среду, в последнее время в мире разработаны разные методики и инструменты для экологического мониторинга за деятельностью предприятий, использующие различные подходы к решению данной проблемы.

Цель работы

Целью данной работы было исследование источников загрязнения атмосферного воздуха винзаводом «Усадьба Перовских».

Задачи работы:

- систематизация сведений о распределении источников загрязнения на территории предприятия;
- инвентаризация выбросов загрязняющих веществ (ЗВ);
- разработка нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) ЗВ в атмосферу от винзавода «Усадьба Перовских».

Исследование объектов негативного воздействия на окружающую среду

Основным видом деятельности предприятия винзавод «Усадьба Перовских» является производство вина из винограда. Карта-схема территории винзавода «Усадьба Перовских» с нанесением источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ) представлена на рисунке 1.

Приточные вытяжные системы в производственных цехах завода выведены из эксплуатации, выбросы загрязняющих веществ осуществляются через открытые окна и двери.

Дробильно-прессовое отделение (пункт ДПО)

Виноград доставляется на завод в приемные бункеры, из которых подается на дробильные, гребнеотделительные и прессовальные машины. После обработки сырья, сок насосом подается в бродильные установки (цистерны), а жмых вывозится и утилизируется.

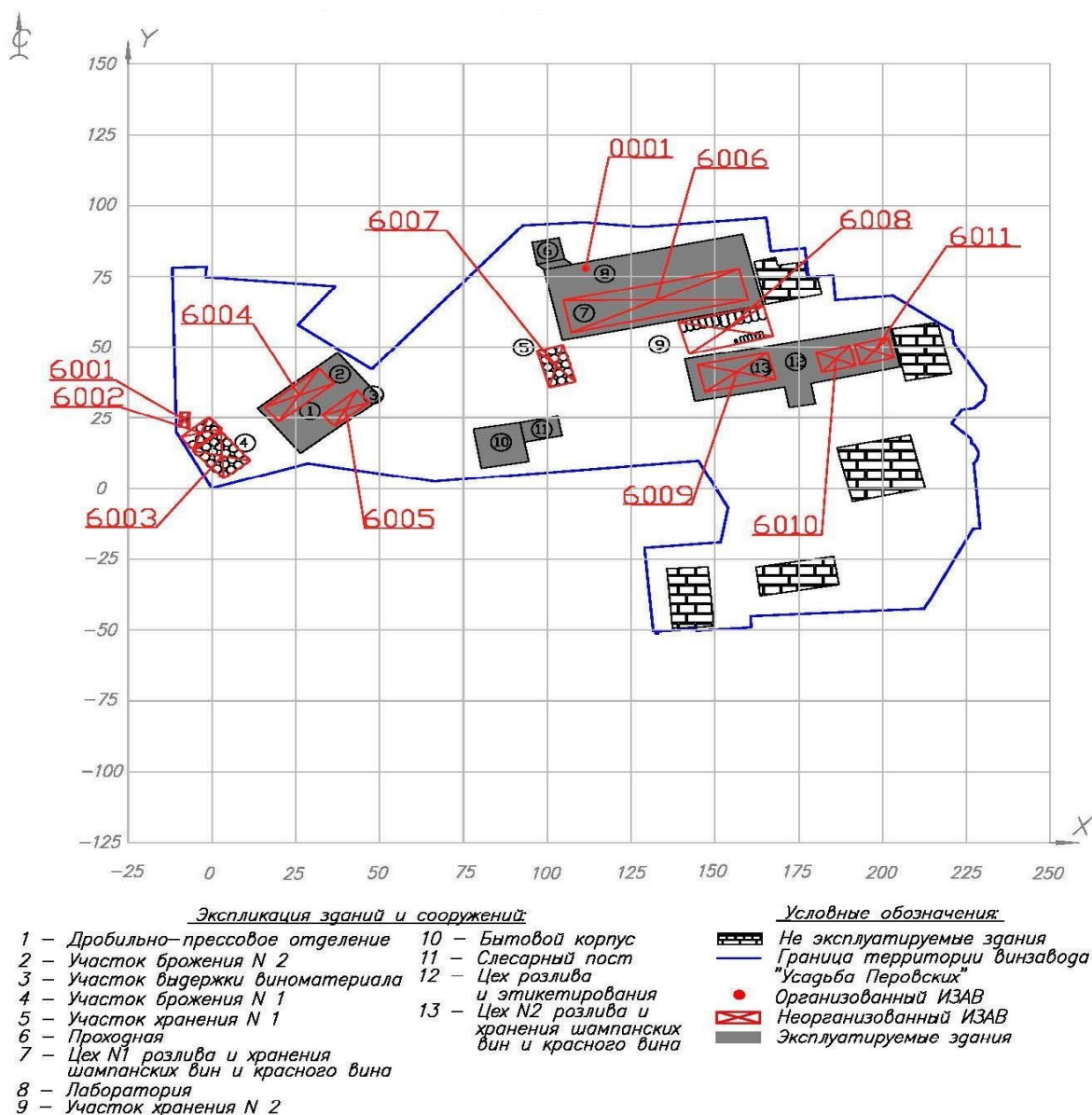


Рис.1. Карта-схема территории винзавода «Усадьба Перовских» с указанием ИЗАВ

Брожение проводится в цистернах различной емкости на участке брожения №1 (на улице, возле здания пункта ДПО) и на участке брожения №2 (в здании пункта ДПО). Одна операция брожения занимает 7 дней. Процесс происходит непрерывно в течение 3 месяцев. В процессе брожения выделяется загрязняющее вещество - Этанол (Спирт этиловый). Выбросы загрязняющих веществ неорганизованные (ИЗАВ 6001 - ИЗАВ 6004).

В здании пункта ДПО также производится хранение виноматериала в дубовых бочках в течение 12 месяцев. В процессе хранения виноматериала выделяется загрязняющее вещество - Этанол (Спирт этиловый)).

Выброс загрязняющих веществ неорганизованный (ИЗАВ 6005).

Цеха №1 и №2 хранения шампанских вин и красного вина

Выдержка и хранение виноматериала осуществляется: на участке хранения виноматериала №1, на участке хранения виноматериала №2, а также в зданиях цехов хранения шампанских вин и красного вина №1 и №2. Весь процесс занимает от 2 до 12 месяцев. При хранении виноматериала выделяется загрязняющее вещество - Этанол (Спирт этиловый).

Выбросы загрязняющих веществ неорганизованные (ИЗАВ 6006 - ИЗАВ 6009).

Цех розлива и этикетировки

По готовности виноматериал по трубопроводам подается на линию розлива. Линия розлива размещается в отдельном помещении цеха розлива и этикетировки.

Розлив виноматериала осуществляется в стеклянные бутылки и Бэг-ин-Боксы через кран. Также, в здании цеха установлен Триблок налива вина, предназначенный для розлива виноматериала в стеклянные бутылки. При проведении операции выделяется загрязняющее вещество - Этанол (Спирт этиловый).

Выброс загрязняющих веществ неорганизованный (ИЗАВ 6010).

Перед розливом виноматериал перегоняется в цистерны, находящиеся рядом с линией розлива. При хранении виноматериала в цистернах выделяется загрязняющее вещество - Этанол (Спирт этиловый).

Выброс загрязняющих веществ неорганизованный (ИЗАВ 6011).

Нанесение этикеток на бутылки производится с помощью этикетировочной машины. Этикетки самоклеящиеся, клей в процессе этикетировки не используется. Выброс загрязняющих веществ отсутствует.

Лаборатория

Для определения содержания спирта, сахара, титруемой кислоты, свободной и общей серы, летучей кислоты, железа в готовом вине, на территории винзавода расположена лаборатория.

Все работы с реактивами осуществляются в вытяжном шкафу Ш2-В. Процесс сопровождается выделением загрязняющих веществ (Гидрохлорид (Соляная кислота), Серная кислота, Натрий гидроксид).

Выброс загрязняющих веществ организованный (ИЗАВ 0001).

Слесарный пост

На слесарном посту проводятся слесарные работы по ремонту собственного винодельческого оборудования с применением ручного инструмента. Станочное и иное оборудование, в результате работы которого выделяются загрязняющие вещества, не применяется. Сварочные и металлообрабатывающие работы не проводятся. Выброс загрязняющих веществ отсутствует.

Обеззараживание и мойка оборудования, используемого на заводе, осуществляется раствором каустической соды. Согласно методическому пособию по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от 2012 г.[10], выбросы растворенного вещества из его водного раствора отсутствуют для неорганических веществ, которые в чистом виде имеют температуру плавления выше 100 °С и не являются летучими, а в рассматриваемых водных растворах не подвергаются гидролизу и не вступают в химическое взаимодействие с другими компонентами раствора с образованием летучих продуктов. Выбросы этих веществ возможны только за счет механических процессов,

приводящих к брызгоуносу, например, при барботаже воздуха, интенсивном кипении раствора, распылении этого раствора из пульверизатора.

Гидроксид натрия не является летучим веществом, а температура его плавления в чистом виде 318°C. В рассматриваемом водном растворе, каустическая сода не подвергается гидролизу и не вступает в химическое взаимодействие с другими компонентами с образованием летучих продуктов. Поэтому выброс гидроокиси натрия в атмосферу невозможен.

Крепость виноматериала составляет от 10,5 до 15 %. Хранение и выдержка виноматериала, в среднем, составляет от 2 до 12 месяцев. В расчетах приняты максимальные значения.

Таким образом, в ходе исследования производственной площадки были выявлены вещества, которые являются источниками загрязнения:

- Натрий гидроксид (натрий едкий; Сода каустическая)
- Соляная кислота
- Серная кислота
- Этанол (Спирт этиловый)

Натрий гидроксид, соляная и серная кислота относятся ко 2 классу опасности, а этанол - к 4-му [6] .

Газоочистных и пылеулавливающих установок в составе рассматриваемого хозяйствующего субъекта нет.

Состав и количество выбросов ЗВ, а также параметры выбросов определялись на основании:

- данных технологических процессов, полученных в ходе проведения инвентаризации;
- паспортных данных технологического оборудования;
- исходных данных, предоставленных хозяйствующим субъектом;
- методик определения качественного и количественного состава выбросов загрязняющих веществ.

Определение годового количества выбросов от цистерн брожения виноматериала

Для определения качественного состава выбросов от всех источников загрязнения на начальном этапе были проведены расчёты (г/с, т/год) в соответствии с перечнем утверждённых методик [8-10]. Согласно полученным данным количества ЗВ, отходящих от источника воздействия на окружающую среду, можно посчитать суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (в целом по предприятию), т/год.

Из приведенных данных следует, что уровень существующего загрязнения атмосферы характеризуется фоновыми концентрациями загрязняющих веществ в атмосфере.

Согласно методическому пособию [10] при нормировании выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу конкретным хозяйствующим субъектом необходим учет фонового загрязнения атмосферного воздуха, т.е. загрязнения, создаваемого выбросами всех других источников, не относящихся к рассматриваемому субъекту. Такой учет обязателен для всех хозяйствующих субъектов, всех загрязняющих веществ, подлежащих государственному учету и нормированию, для которых выполняется условие:

$$q_{м,пр,j} > 0,1 \quad (1)$$

где: $q_{м,пр,j}$, (в долях ПДК) – величина наибольшей приземной концентрации j-го ЗВ, создаваемая (без учета фона) выбросами рассматриваемого хозяйствующего субъекта на границе ближайшей жилой застройки в зоне влияния выбросов данного субъекта.

Если для какого-либо вещества, выбрасываемого в атмосферу, условие (1) не выполняется, то при нормировании выбросов такого вещества предприятием учет фоновое загрязнения воздуха не требуется.

На основании полученных данных был проведен анализ количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу источниками предприятия, в отношении которых устанавливаются нормативы выбросов, где все показатели значительно ниже предельно допустимой концентрации. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица. Суммарный выброс ЗВ в атмосферу источниками предприятия, в отношении которых устанавливаются нормативы выбросов

Загрязняющее вещество		Используемый критерий	Значение критерия мг/м ³	Класс опасности	Суммарный выброс вещества	
код	наименование				г/с	т/год
1	2	3	4	5	6	7
0150	Натрия гидроксид, NaOH (Натр едкий; Сода каустическая)	ОБУВ	0,0100	2	0,00000194	0,0000015
0316	Соляная кислота HCl	ПДК м/р	0,2000	2	0,00003610	0,0000270
0322	Серная кислота, H ₂ SO ₄	ПДК м/р	0,3000	2	0,00000139	0,0000010
1061	Этанол, C ₂ H ₅ OH (Спирт этиловый)	ПДК м/р	5,0000	4	0,00000001	0,0161500
Всего веществ: 4					0,00003944	0,0161795
в том числе твердых: 1					0,00000194	0,0000015
жидких/газообразных: 3					0,00003750	0,0161780

Выводы

Исследовав все источники загрязнений, выбрасываемых в атмосферный воздух на предприятии «Усадьба Перовских», можно сделать вывод о том, что расчеты рассеивания вредных веществ, а также превышения критерия качества атмосферного воздуха для населенных мест в селитебной зоне и на границе ориентировочной санитарно-защитной зоны (СЗЗ) по всем загрязняющим веществам отсутствуют. В связи с тем, что рядом с исследуемым объектом отсутствуют предприятия негативного воздействия, район расположения винзавода «Усадьба Перовских» можно отнести к экологически чистым.

Однако любые изменения на предприятии, например, увеличение мощности выпускаемой продукции или изменение технологического оборудования на винзаводе могут привести к увеличению выбросов вещества. Поэтому для защиты окружающей среды необходимо регулярно проводить мониторинг качества атмосферного воздуха и контролировать технологический процесс на предприятии.

Список использованных источников

1. Федеральный закон. Об охране атмосферного воздуха. 04.05.99 N 96-ФЗ.
2. ГОСТ 17.2.3.02-2014. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (Новая редакция).
4. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. - С.-Петербург фирма «Интеграл», 2000 г.
5. ОНД-90. Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы. Часть 1., 2. СПб., 1992 г.
6. ГОСТ 12.1.005 – 76 Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны
7. Рекомендации по оформлению и содержанию проектов нормативов допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) для предприятий. Госком. СССР по охране природы, М., 1990 г.
8. Рекомендации по основным вопросам воздухоохранной деятельности (нормирование выбросов, установление нормативов ПДВ, контроль за соблюдением нормативов выбросов, выдача разрешения на выброс). М., 1995г.
9. Сборник методических, инструктивно-методических и справочно-информационных материалов по проведению оценки воздействия на окружающую среду, Часть 1 и 2. Москва, 1993 г.
10. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное), Санкт-Петербург, 2012г.

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

М.Д. Фомкина, Л.И. Лукина

В результате чернобыльской аварии наиболее пострадали Белоруссия, Россия и Украина. В частности, в РФ наибольшему радиационному загрязнению подверглись Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области, на которых аграрный сектор является одним из ведущих в экономике вследствие интенсивного сельскохозяйственного производства. Поэтому в формировании дозовой нагрузки населения на этих территориях следует учитывать дополнительное облучение вследствие потребления сельскохозяйственной продукции, как растениеводческой, так и животноводческой.

Введение

Авария, произошедшая на Чернобыльской станции 26 апреля 1986 года, по характеру протекания процессов разрушения 4-го энергоблока и по масштабам последствий имела категорию запроектной и относилась к 7-ому уровню (тяжелые аварии) по международной шкале ядерных событий INES. В историю человечества эта авария вошла как одна из самых масштабных радиационных катастроф, приведшая глобальному радиационному загрязнению. Территория более 200 000 км² в Европе была загрязнена радиоактивным цезием. Наиболее пострадали Белоруссия, Российская федерация и Украина (табл.1) [1].

Таблица 1 – Территории (км²) в Европе, загрязненные чернобыльскими выпадениями в 1986 г.

Страна	Районы с диапазоном плотности выпадений ¹³⁷ Cs, кБк/м ²			
	37-185	185-555	555-1480	>1480
Российская Федерация	49 800	5 700	2100	300
Белоруссия	29 900	10 200	4 200	2 200
Украина	37 200	3200	900	600
Швеция	12 000	-	-	-
Финляндия	11 500	-	-	-
Австрия	8 600	-	-	-
Норвегия	5 200	-	-	-
Болгария	4 800	-	-	-
Швейцария	1 300	-	-	-
Греция	1 200	-	-	-
Словения	300	-	-	-
Италия	300	-	-	-
Республика Молдова	60	-	-	-

В первый период после аварии основным биологически значимым радионуклидом, попавшим в окружающую среду во время аварии, являлся йод-131 с периодом полураспада $T_{1/2} = 8,3$ суток. В последующие более отдаленные периоды основной вклад в дозовую нагрузку при внутреннем облучении за счет попадания в организм по пищевым цепочкам имеют самые долгоживущие продукты ядерного деления (ПЯД) – стронций - 90 и цезий - 137 с периодом полураспада около 30 лет, т.е. они

будут активными ещё более 250 лет. Оба эти радионуклида биологически значимы, так как ^{90}Sr является аналогом кальция, ^{137}Cs – аналог калия. Поэтому они представляют определенную опасность для человека и животных. Для контроля процессов их миграции в объектах окружающей среды, нахождения в продуктах питания осуществляется радиоэкологический мониторинг.

В Российской Федерации наибольшему радиационному загрязнению подверглись Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области (рис.1).



Рис.1. Карта-схема загрязнения территории Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей цезием-137 Чернобыльского происхождения [1].

Цель работы

Целью данной работы является анализ алгоритма расчета дозовых нагрузок на радиационно-загрязненных территориях

Задачи работы:

- рассмотрение экологических последствий аварии на ЧАЭС;
- анализ нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания;
- рассмотрение формирования дозовых нагрузок на растения, животных, человека.

Радиоэкологические последствия аварии на ЧАЭС

Радиоэкологические последствия аварии на ЧАЭС обусловлены радиоактивным загрязнением природных экосистем – лесов, лугов, рек, озер. Экосистемы подверглись радиационному воздействию, что привело к проявлению биологических эффектов [2]. В пострадавших районах наблюдались острые радиационные эффекты, такие как гибель растений и животных от высоких доз радиации, потеря репродуктивной способности и т.д. К

отдаленным последствиям относятся изменение биоразнообразия, мутации, цитогенетические аномалии и т.д. Больше всего пострадали экосистемы на территориях, близко расположенных к источнику аварии и радиоактивного выброса. Примером может служить «рыжий лес» - несколько га соснового леса, находящегося между ЧАЭС и г. Припятью. На самой загрязненной 30-километровой территории вокруг ЧАЭС была прекращена народнохозяйственная деятельность и население было эвакуировано, а эта территория стала называться чернобыльской зоной отчуждения (ЧЗО). В 1986–1991 годах согласно нормативно-правовым актам были исключены из использования в Беларуси – 264 тыс. га, России – 17, 1 тыс. га и Украине – 158, 3 тыс. га сельскохозяйственных угодий [1].

После аварии прошло 35 лет. В течение этого времени за счет радиоактивного распада плотности загрязнения радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr земель уменьшились в среднем в 2,0 раза, произошли процессы автореабилитации за счет миграции радионуклидов в живой и неживой природе. На загрязненных территориях проведен большой объем реабилитационных контрмер, постоянно ведется радиозэкологический мониторинг. Разработаны национальные концепции радиационной защиты населения и окружающей среды, усовершенствованы системы радиационного контроля и мониторинга, разработаны технологии реабилитации радиационно-загрязненных территорий [1].

Однако загрязненные природные экосистемы ещё длительное время будут представлять собой источник радиационного облучения человека.

Чернобыльская авария признана «сельской аварией», что обусловлено следующими факторами [1]:

- загрязненная в результате аварии территория относится к зоне, в которой аграрный сектор является одним из ведущих в экономике вследствие интенсивного сельскохозяйственного производства;
- дополнительное облучение населения происходит вследствие потребления сельскохозяйственной продукции;
- дозы облучения сельских жителей (как внешнего, так и внутреннего) на загрязненных территориях в 1,3–4,0 раза выше, чем городского населения.

Нормативы содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания

В настоящее время в России основным документом, регламентирующим содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в продуктах питания и сырье для их производства, являются «Санитарные правила и нормы», принятые в 2001 году [3].

Содержание радионуклидов в кормах и кормовых добавках, импортируемых и произведенных в России, регламентируется «Контрольными уровнями (КУ) содержания радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr в кормах и кормовых добавках, импортируемых и произведенных в России» (табл.2).

Для почв в настоящее время отсутствуют официально утвержденные регламентирующие значения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr . Загрязненные территории дифференцируются согласно Зональному делению земель по уровню загрязнения, при котором основными критериями являются плотность поверхностного загрязнения радиоцезием, Ки/км² и среднегодовая доза облучения от радиоактивных выпадений, мЗв.

Таблица 2 – Контрольные уровни (КУ) содержания радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr в кормах и кормовых добавках, импортируемых и произведенных в России

Виды кормов и добавок	КУ, Бк/кг(л)	
	$^{134,137}\text{Cs}$	^{90}Sr
Грубые корма - сено, солома, мякина	600	100
Сочные корма-силос, сенаж, корнеплоды	600	100
Зеленый корм- травы естественное, сеянные	370	50
Концентрированные корма-зерно злаков, бобовых, отруби, комбикорма	600	65
Жом, меласса, шрот, жмых, мезга, барда	600	100
Мясо, рыба, субпродукты	600	100
Корма сухие животного происхождения, мясные, мясокостные, мука кормовая	370	100
Консервы кормовые животного происхождения с растительными и другими добавками	600	100
Молоко и заменители молочных кормов	370	50
Сухие молочные смеси и заменители	600	100
Белково-витаминные и минеральные добавки, премиксы, корма микробиологического синтеза	370	50

Дозовые нагрузки на радиационно-загрязненных территориях

Формирование дозовой нагрузки на растения. Величина дозовой нагрузки на сельскохозяйственные растения складывается из внешней и внутренней дозы и зависит от конкретной ситуации, в которой растения выращиваются. К наиболее значимым факторам, определяющим величину поглощенной дозы, следует отнести размер и состав радионуклидных загрязнений, время с момента начала загрязнения, характер трофических цепей и т. д [5].

Источниками облучения растений являются:

- загрязненная почва,
- радионуклиды, инкорпорированные в сами растения, т.е. поступившие в растения в результате корневого и листового (аэриального) поглощения,
- соседние растения, также содержащие радиоактивные изотопы.

Радиочувствительность разных органов растений к поглощенной дозе неодинакова. Наиболее чувствительным к ИИ органом растений является точка роста или апикальная меристема, ткань которой построена из быстро делящихся клеток.

При высоких дозовых нагрузках, равномерно распределенных по всему растению, происходит угнетение точки роста, что приводит к последующему увеличению кущения, росту боковых побегов и активизации спящих пазушных почек.

При радионуклидном загрязнении растения подвергаются смешанному облучению - внешнему и внутреннему. Суммарная дозовая нагрузка включает также облучение от природных источников радиации - космического фона, космогенных и естественных радионуклидов. При этом мощность дозы в верхушечной меристеме P_α (Гр/с) растений можно оценить следующим образом:

$$P_\alpha = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot C \cdot E_\alpha \cdot K_H \cdot K_M, \quad (1)$$

где $1,6 \cdot 10^{-13}$ - коэффициент, учитывающий размерность единиц, Гр·кг/МэВ;

C - концентрация радионуклида в почве, Бк/кг;

E_α - энергия α -излучения, МэВ;

K_H - коэффициент накопления радионуклида растением, (отн. ед.);

K_M - относительное содержание радионуклида в верхушечной меристеме по сравнению с растением в целом, (отн. ед.).

Радионуклиды-загрязнители при свежих выпадениях концентрируются в верхних слоях почвы. Обычно глубина проникновения свежих выпадений не превышает 1-3 мм. В этом случае β -излучение, наряду с γ -излучением, имеет большое значение.

Со временем в результате переноса источников ИИ (смывание и сдувание с поверхности листьев, ветровой перенос), ветровой и водной эрозии почвы, а также агротехнических мероприятий происходит вторичное перераспределение радионуклидов в компонентах агроэкосистем. При этом они распределяются по всему пахотному слою почвы (обычно 0-20 см) и за счет экранирующего влияния слоя почвы роль β -активных радионуклидов в формировании дозы внешнего облучения снижается.

Формирование дозовой нагрузки на животных. В условиях радионуклидного загрязнения дозовая нагрузка на сельскохозяйственных животных при их облучении формируется иначе. Животные, в отличие от растений, которые локализованы территориально, способны перемещаться по территории, которая, как правило, является неоднородной по степени и составу радионуклидного загрязнения. Вследствие этого создаются различные ситуации формирования их внешнего и внутреннего облучения, и оценка дозовой нагрузки усложняется [5].

Доза внешнего облучения сельскохозяйственных животных формируется за счет γ - и β -излучения, причем наибольший вклад вносит проникающее γ -излучение, так как γ -излучение внешних источников ИИ может формировать дозовые нагрузки и на внутренние органы животных. Вследствие того, что β -излучение обладает гораздо меньшей проникающей способностью, оно воздействует только на внешние покровы животных. Более значимым β -излучение становится при максимальном приближении животных к загрязненному приземному слою воздуха или к поверхности загрязненной почвы. Поэтому наибольшие дозовые нагрузки, обусловленные β -облучением, животные получают во время лежания на загрязненной почве, на долю которого приходится 30-60% суточного времени.

Кроме того, дозовая нагрузка на сельскохозяйственных животных при внешнем облучении зависит также от микрорельефа поверхности, на которой они находятся. Например, в случае открытой местности при одинаковой плотности загрязнения мощность дозы γ -излучения на лугу в 1,3 раза, а на вспаханной пашне - в 2 раза меньше по сравнению с гладкой поверхностью. Поглощенные дозы γ -излучения в воздухе и в биообъекте различаются. Уровни доз в различных органах животного различаются и зависят от их расположения в теле животного. На боковых поверхностях животного и в области головы формируются максимальные дозы. Доза, создаваемая γ -излучением, резко снижается при увеличении расстояния от кожного покрова внутрь. Так, по сравнению с дозой на

поверхности, в центре тела формируемая внешним облучением доза уменьшается в 5-7 раз для крупного рогатого скота и в 2-3 раза для овец.

На величину доз, создаваемых γ -излучением при внешнем облучении, также влияет тип содержания сельскохозяйственных животных, которое может быть стойловым или пастбищным. Кратность ослабления γ -излучения стенами построек характеризуется коэффициентом защиты (коэффициентом ослабления), который определяется отношением мощности дозы излучения на открытой местности к мощности дозы внутри помещения в его центре. Коэффициенты защиты (в первом приближении) для построек и транспортных средств приведены в таблице 3.

При внутреннем облучении животных источниками поступления радионуклидов в их организм являются загрязненные компоненты окружающей среды: воздух, вода, растения и частицы почвы. Основные пути поступления радиоизотопов внутрь животных – ингаляционный и пероральный. Определяющим фактором является степень загрязненности кормов.

Поглощенная доза внутреннего облучения животных определяется:

- скоростью и особенностями включения радионуклидов в метаболические процессы, протекающие в организме животного;
- интенсивностью их выведения;
- физическими характеристиками радионуклидов (вид и энергия излучения, длительность периода полураспада).

Вследствие того, что поступающие в организм радионуклиды распределяются в нем неравномерно, наибольшему облучению подвергаются критические органы. Так, для ^{131}I критическим органом является щитовидная железа, для ^{90}Sr – костная ткань. Т.к. ^{137}Cs , являющийся аналогом калия, распределяется в организме равномерно, для него критическим органом являются мышечная ткань и печень (основная биохимическая лаборатория организма).

Таблица 3. Средние значения коэффициента ослабления дозы радиации укрытиями и транспортными средствами

Наименование укрытий и сооружений	K_{oc}
Открытое расположение на местности	1
Одноэтажные деревянные дома, животноводческие деревянные сооружения	2
Подвал одноэтажного деревянного дома	4
Двухэтажные жилые деревянные дома	8
Одноэтажные жилые каменные дома, каменные животноводческие помещения	10
Подвал двухэтажного деревянного дома	12
Двухэтажные жилые каменные дома	15

Подвал одноэтажного каменного дома	40
Подвал двухэтажного каменного дома	100
Автомобили, автобусы, крытые вагоны	2
Кабины трактора, бульдозера, экскаватора	4
Железнодорожные пассажирские вагоны	3
Лес	2
Убежище	1000 и более

При многократном поступлении радионуклидов в организм поглощенная доза внутреннего облучения определяется частотой и длительностью их поступления. При хроническом поступлении доза внутреннего облучения будет гораздо большей, различия могут достигать десятков, сотен и даже тысяч раз в зависимости от времени наблюдения. На накопление радионуклидов в организме животных и в получаемой от них продукции влияют такие факторы, как возраст и физиологическое состояние животных, их продуктивность, тип рациона. Молодые животные гораздо активнее накапливают радионуклиды, чем взрослые и старые, что связано с особенностью и интенсивностью обмена веществ в молодом организме.

Формирование дозовой нагрузки на человека. Суммарная доза облучения человека, проживающего на территории, загрязненной радионуклидами включает воздействия естественных и искусственных источников радиации. Суммарное воздействие ИИ складывается из доз внешнего облучения от источников излучения, находящихся вне человека, и внутреннего облучения от источников излучения, попадающих в организм человека с воздухом, водой, пищей или другими ингаляционным, пероральным и кожно-резорбтивным путями [5].

При радиационном загрязнении через несколько лет после аварии основными компонентами загрязнения являются долгоживущие радионуклиды. Известно, что ^{137}Cs является основным загрязнителем территорий, пострадавших в результате чернобыльской катастрофы. Поэтому главным источником внешнего облучения человека является ^{137}Cs , распад которого сопровождается β - и γ -излучениями. Другие долгоживущие радионуклиды - ^{90}Sr и ^{239}Pu - не представляют опасности как источники внешнего излучения по причине невысокой проникающей способности β - и α -излучений.

Суммарную дозу, которую может получить население, проживающее на радиационно-загрязненных территориях, оценивают по результатам прогностических расчетов.

Дозу внешнего облучения рассчитывают, как правило, по эмпирическим формулам. Источник излучения обычно распределен в окружающей среде - почве, растениях, стенах зданий и т. д. В этом случае доза внешнего облучения зависит от целого ряда факторов: вида и энергии излучения радионуклида, количества радионуклида в почве (его активности), распределения радионуклида в слое почвы, времени нахождения человека на открытой территории, наличия защитных сооружений, расстояния от загрязненной поверхности и др. В такой ситуации обычно прибегают к использованию эмпирических, т. е. определяемых из опыта, зависимостей.

Расчет дозы внешнего облучения человека. Эмпирическая зависимость средней годовой дозы внешнего облучения человека ($D_{\text{внешн.}}$) от плотности поверхностного загрязнения территории (a_s) имеет вид:

$$D_{\text{внешн}} (\text{мЗв/год}) \sim 0,1 \cdot a_s (\text{Ки/км}^2), \quad (2)$$

В соответствии с этой формулой единственным источником внешнего облучения является гамма-излучение ^{137}Cs , при этом радионуклид равномерно распределен в слое почвы толщиной 20 см, учтено также ослабление потока излучения при прохождении этого слоя, учитываются усредненные условия проживания человека. Формула может быть использована для приближенной оценки дозы внешнего излучения.

Если рассмотреть частный случай, когда a_s для ^{137}Cs составляет 10 Ки/км², прогнозируемая доза внешнего облучения для работника АПК составит приблизительно 1 мЗв/год:

$$D_{\text{внешн}} (\text{мЗв/год}) \sim 0,1 \cdot a_s (\text{Ки/км}^2) = 0,1 \cdot 10 (\text{Ки/км}^2) = 1 \text{ мЗв/год}.$$

Эта величина соответствует допустимой общей дозовой нагрузке сверх естественного фона (НРБ-99) [4].

Расчет дозы внутреннего облучения человека. Расчет дозы внутреннего облучения человека основан на использовании дозового коэффициента (K_D), установленного Нормами радиационной безопасности (НРБ-99).

Дозовый коэффициент K_D - величина ожидаемой эффективной дозы облучения человека при поступлении 1 Бк данного радионуклида через органы дыхания или пищеварения. Значения дозовых коэффициентов и пределов годового поступления радионуклидов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Дозовые коэффициенты (K_D) и пределы годового поступления (ПГП) радионуклидов в организм человека (по НРБ-99)

Радионуклид	K_D , мкЗв/Бк		ПГП, Бк/год	
	с воздухом	с пищей	с воздухом	с пищей
для персонала				
^{131}I	0,0076	—	2600000	—
^{137}Cs	0,0048	—	4200000	—
^{90}Sr	0,024	—	830000	—
^{239}Pu	15	—	1300	—
для населения				
^{131}I	0,072	0,18	14000	5600
^{137}Cs	0,0046	0,013	220000	77000
^{90}Sr	0,05	0,08	20000	13000
^{239}Pu	50	0,42	20	2400

Из таблицы 4 следует, что для каждого радионуклида, а также для различных путей поступления радионуклидов в живой организм дозовый коэффициент, а значит, и ожидаемая доза облучения человека, различны.

Это объясняют тем, что для каждого радионуклида характерны свои вид и энергия излучения, период полураспада, физические и химические свойства, место локализации в организме человека, участие в обменных процессах, эффективный период полувыведения из организма.

Зная общую активность радионуклида, поступающего в организм человека, дозу внутреннего облучения можно рассчитать по формуле:

$$D_{\text{внутр}}(\text{мкЗв}) = A \cdot K_D, \quad (3)$$

где A - активность радионуклида, поступающего в организм человека, Бк;

K_D - дозовый коэффициент, мкЗв/Бк.

Выводы

Дозовые нагрузки на радиационно загрязненных территориях формируются за счет внешнего и внутреннего облучения. При расчете дозовых нагрузок на растения определяющими являются плотность загрязнения, путь поступления радионуклидов (аэральный, корневой или смешанный) и коэффициент накопления радионуклида растением. При расчете дозовых нагрузок на животных учитываются как внешнее, так и внутреннее облучение. При этом определяющим фактором является степень загрязненности кормов.

Суммарная доза облучения населения, проживающего на радиационно- загрязненной территории, складывается из доз внешнего облучения от источников излучения, находящихся вне человека, и внутреннего облучения от источников излучения, попадающих в организм человека с воздухом, водой, пищей или другими путями - ингаляционным, пероральным и кожно-резорбтивным.

Список использованных источников

1. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий: [Анисимов В. С., Гераськин С. А., Гешель И. В. и др.]: под редакцией Н. И. Санжаровой и С. В. Фесенко. РАН. - 2018. – 278 с.
2. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление. Двадцатилетний опыт: доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. Вена: МАГАТЭ, 2008. - 180 с.
3. СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».
4. Нормы радиационной безопасности РФ (НРБ -99) М.: 1999.
5. Оценка радионуклидного загрязнения сельскохозяйственной продукции, расчет и прогноз дозовых нагрузок на человека: метод. указания для выполнения курсовых, расчет.-граф. работ и практ. занятий по дисциплине «Радиационные источники» /Лукина Л. И., Ленивенко Н. Н., Щекатурина Т. Л.]. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2018. — 47 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОПОРОШКА К ИОНАМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДИНАМИЧЕСКОМ И СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ СОРБЦИИ

Е.М. Савенко, Т.А. Юркова, Е.А. Магдыч

В современном мире производства развиваются с большой скоростью и увеличивают объемы производства. Сточные воды различных предприятий загрязнены тяжелыми металлами (медь, никель, цинк и др.), которые попадая в окружающую среду несут потенциальную опасность для водоемов, их флоры и фауны, а также для человека. Актуальность вопроса очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов не вызывает сомнений и поиск наиболее экономичной технологии сопоставимой с современными методами анализа требует исследований и анализа существующих результатов.

Введение

Для глубокой очистки сточных вод от растворенных в них веществ применяют процесс адсорбции, который протекает либо при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, либо фильтрованием через слой адсорбента. Нанопрошки за счет малых размеров частиц обладают новыми свойствами, которые можно использовать в различных технологиях и устройствах. Применение нанопорошков в качестве адсорбента позволит модернизировать существующие технологии очистки сточных вод.

Цель работы

Целью данной работы является исследование сорбционных свойств нанопорошка кремния по отношению к модельным растворам меди (II) в различных условиях сорбции: динамическом и статическом, определение степени извлечения и оценка работы нанопорошка [1,2].

Методика проведения эксперимента

Для проведения исследования приготовленные модельные растворы $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с содержанием иона меди 0,5 мг/мл и 1 мг/мл объемом 400 мл переносили в химические стаканы. Сорбция проводилась в двух режимах: динамическом и статическом. При статическом режиме сорбции в химический стакан, заполненный раствором добавляли 0,5 г нанопорошка кремния и с периодичностью 10 минут в течение 2 часов отбирали пробы объемом 5 мл, которые анализировались на содержание иона в растворе. Концентрацию ионов меди в растворе определяли фотометрическим методом по ГОСТ 4388-72. Для воспроизводимости результатов эксперимента градуировочный график строился в трех параллелях с подбором минимальной ошибки аппроксимации, используя для расчета метод наименьших квадратов.

При динамическом режиме сорбции химический стакан с аналогичным объемом раствора и содержанием нанопорошка устанавливали на магнитную мешалку и при

постоянном перемешивании отбирали аликвоты с таким же временным интервалом, как и при статических условиях.

По полученным экспериментальным данным оценивали степень извлечения ионов меди нанопорошком и количество вещества адсорбированного массой сорбента.

Результаты и обсуждение

Зависимость степени извлечения от времени сорбции представлена на рисунке 1.

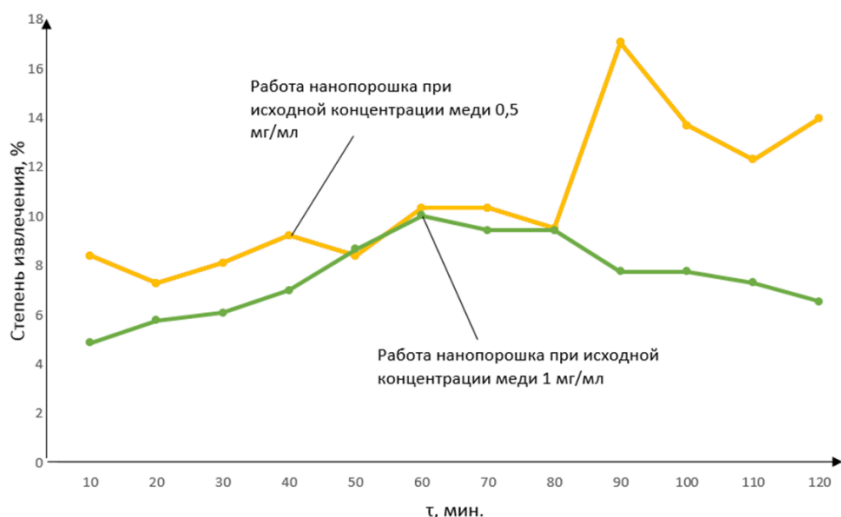


Рис.1 Зависимость степени извлечения от времени сорбции

Из представленных зависимостей очевидна положительная сорбционная способность нанопорошка. Прослеживается зависимость увеличения степени извлечения при уменьшении концентрации ионов в растворе.

Зависимость, которая отражает работу непосредственно нанопорошка в течении времени проведения эксперимента до достижения максимального значения степени извлечения представлена на рисунке 2. носит относительно постоянный во времени характер, что свидетельствует о равномерной сорбционной способности нанопорошка.

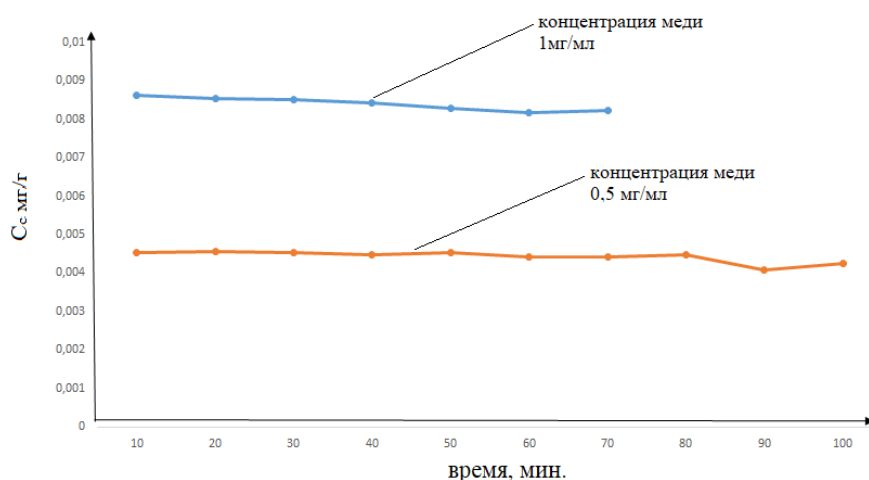


Рис.2 Зависимость количества вещества адсорбированного массой сорбента от времени

Выводы

В результате проведенных исследований установлены основные закономерности извлечения Cu (II) из водных растворов природными сорбентом в статических и динамических условиях. Исследуемый материал является природным сорбентом и имеет повышенную поверхность и объем пор, достаточный для эффективной очистки от тяжелых металлов (таких как медь и никель), что при высокой емкости (сорбционной способности), может определить экономическую целесообразность его применения в процессах очистки воды.

Список использованных источников

1. Петрова Е.В., Асташкина А.П., Филоненко Д.А и др. Исследование перспектив использования гидрофобных волокнистых сорбентов для очистки вод от ионов металлов // Известия томского политехнического института, 2007. Т.310. №2. С136 – 140.
2. Хурамшина И.З., Никофоров А.Ф., Мигалатий Е.Ф. Модифицированные природные сорбенты для извлечения меди (II) из водных растворов //Вопросы современной науки и практики, 2015. № 1(55). С 26 – 31.

ЛИВНЕВЫЕ СТОКИ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БАЛАКЛАВА)

А.М. Акимов, Е.М. Савенко

На сегодняшний день согласно Постановлению Правительства города Севастополя от 27.12.2019 года №696-ПП на территории г. Севастополь отсутствует единая централизованная сеть ливневой канализации, а имеются лишь отдельные небольшие участки сетей ливневой канализации.

В частности, на территории г. Балаклава:

- нет централизованных сетей ливневой канализации;
- нет очистных сооружений;
- имеющиеся нецентрализованные участки ливневой канализации не в состоянии обеспечить нормальное отведение ливневых сточных вод с территории населенного пункта.

В статье предложена методика сбора и расчета объемов ливневых стоков в г. Балаклава, определение в них вредных примесей с последующей очисткой и использованием в хозяйственных и технических нуждах города.

Введение

На сегодняшний день в г. Балаклава остро стоит проблема о загрязнении прибрежных вод, обусловленная отсутствием ливневой канализации и очистных сооружений. В результате ливней разрушаются подпорные стенки, дорожные покрытия, наносится непоправимый вред природной среде и Черному морю. В Балаклавскую бухту и прилегающие к ней воды ежегодно сбрасывается около 1405 тыс. м³ загрязненных сточных вод.

Растущее население (за последний год прирост населения составил около 11 тыс. человек и сейчас в городе проживает около 34,5 тыс. чел.), строительство новых объектов (в том числе освоение незастроенных территорий), активный туристический сезон – все это также оказывает существенное влияние на изменение химического и биологического состава морской воды.

До недавнего времени ливневым стокам не уделялось должного внимания и считалось, что они не представляют серьезной опасности для водных объектов. Однако, дождевые и поливочные воды, стекающие с застроенных территорий значительно загрязнены и сбрасываются в водные объекты без проведения специальных мероприятий по их предварительной очистке и обеззараживанию.

Увеличение числа площадей застраиваемых территорий приводит к возрастанию объема ливневого стока, что в свою очередь приводит к нарастанию загрязнения и негативного эффекта на окружающую природную среду.

Цель работы

Целью данной работы является качественная и количественная оценка ливневых стоков, загрязняющих поверхностные воды Балаклавской бухты; подтверждение

необходимости возведения ливневых очистных сооружений в г. Балаклава с целью улучшения экологической обстановки и возможности повторного использования ливневых стоков для хозяйственных и технических нужд города.

Ливневые стоки основной источник загрязнения поверхностных вод акватории г. Балаклава

Дожди и ливни являются источниками загрязнения поверхностного стока по двум причинам:

1. проходя через атмосферу, они извлекают из воздушной среды содержащиеся в ней примеси;
2. при стекании атмосферных осадков по поверхности городской территории в них попадает основная доля загрязняющих веществ.

Загрязняющие вещества поступают в ливневые стоки с поверхности дорожных покрытий, кровельных и прочих строений. В них входят продукты эрозии почвы, смываемые с поверхности газонов и открытых грунтовых площадок, бытовой мусор, вымываемые компоненты дорожных покрытий и строительных материалов, хранящихся на открытых складских площадках, нефтепродукты от выхлопов автомобильного транспорта, остатки удобрений, пестициды, бытовые отходы, пыль и газы, образующиеся в результате работы промышленных предприятий (в Балаклаве находятся два карьера: Кадыковский карьер флюсовых известняков и Псилехарский карьер (с 2000-х гг. перестал функционировать ввиду затопления морской водой).

Основными загрязняющими веществами в составе поверхностного стока являются взвешенные вещества, концентрация которых может варьироваться от нескольких миллиграмм до десятков грамм в литре воды. Основное количество нерастворенных примесей представлено мелкодисперсными частицами (частицы пыли). Органические вещества в ливневых стоках содержатся в растворенном и нерастворенном виде (90% от общего количества органических веществ, содержащихся в ливневых стоках, приходится на суспензии).

Степень загрязнения поверхностного стока зависит от степени загрязненности городской территории, а также от интенсивности атмосферных осадков (чем меньше слой осадков и продолжительнее период сухой погоды, тем выше концентрация основных примесей в дождевом стоке). Атмосферные осадки начинают загрязняться еще до достижения поверхности земли, в приземном слое. Это происходит в результате процесса сорбции ливневыми водами частиц пыли и газа, находящихся в воздухе.

Месяц Год	Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сент	Окт	Ноя	Дек	Итого
2018	24	25	23	3	85	35	52	0	72	34	33	61	447
2019	42	22	8	20	2	50	45	29	8	20	29	34	309
2020	13	34	2	12	17	31	4	0	48	49	37	13	260
2021	42	12	38	24	11	11	2	37	3	28	2	11	221

Табл.1 Месячная и годовая суммы осадков (в мм) в городе Балаклава за период 2018-2021 гг.

Среднегодовое количество осадков за 2018-2021 гг. составляет 390,1 мм.

Качественная и количественная оценка ливневых стоков

Для качественной и количественной оценки ливневых стоков необходимо проводить регулярный анализ проб воды и отслеживать изменение основных параметров. Эти параметры в зависимости от характера своей природы делятся на механические и химические.

Основные параметры каждой группы можно увидеть в таблице 2.

Механические	Химические
Температура	Биохимическое потребление кислорода (БПК)
рН	Химическое потребление кислорода (ХПК)
Цветность	Минеральный состав: – катиониты растворенных солей (Ca^{2+}; Mg^{2+}; Na^+ и т.д.); – аниониты растворенных солей (HCO_3^-; SO_4^{2-}; Cl^-; CO_3^{2-} и т.д.)
Мутность	Содержание фосфатов и нитратов
Запах	Содержание тяжелых металлов
Прозрачность	ПАВ
	Содержание нефтепродуктов

Табл.2 Механические и химические показатели состава ливневых стоков

В ходе анализа литературных источников за период 2014-2017 гг. было выявлено, что в воды Балаклавской бухты сбрасываются стоки, значительно превышающие предельно-допустимые нормы. По взвешенным веществам — в 40 раз, по биологической потребности в кислороде — в 800 раз, по нефтеотходам — в 2,5 раза. В будущем такая ситуация может привести к тому, что начнет сильно видоизменяться биологический и химический состав морской воды, а это может повлиять на животный и растительный мир Балаклавской бухты и прилегающих вод.

На сегодняшний день для определения загрязняющих веществ, содержащихся в ливневых стоках и получения точных экспериментальных данных, отражающих ситуацию на 2020-2021 гг. применяют следующие физико-химические методы анализа:

- йодометрическое титрование (метод Винклера);
- фотометрический метод определения аммиака с реактивом Несслера;
- определение хлоридов с помощью ионоселективного электрода.

Определение количественных характеристик поверхностного стока

Определение количественных характеристик поверхностного стока с территории водосбора заключается в определении:

- среднегодовых и максимальных суточных объемов поверхностного стока (дождевого, талого и поливочного), используемых при расчете нормативов ПДС и аккумулирующих резервуаров;
- расчетных расходов дождевых и талых вод в коллекторах дождевой канализации;
- расчетных расходов поверхностных сточных вод при отведении на очистку и в водные объекты.

Годовой объем поверхностных сточных вод, образующихся на территории водосбора, определяется как сумма поверхностного стока за теплый (апрель-октябрь) и холодный (ноябрь- март) периоды года с общей площади водосбора объекта по формуле:

$$W_{\Gamma}=W_{\text{Д}}+W_{\text{Т}}+W_{\text{М}} , \quad (1)$$

где $W_{\text{Д}}$, $W_{\text{Т}}$ и $W_{\text{М}}$ – среднегодовой объем дождевых, талых и поливочных вод, в м³.

Среднегодовой объем дождевой ($W_{\text{Д}}$) воды в м³, определяется по формуле п. 5.1.2 рекомендаций [2]:

$$W_{\text{Д}}=10 \cdot h_{\text{Д}} \cdot \Psi_{\text{Д}} \cdot F , \quad (2)$$

где F – расчетная площадь стока, в га;

$h_{\text{Д}}$ – слой осадков за теплый период года, (определяется по таблице 2 СНИП 23-01-99 «Строительная климатология»);

$\Psi_{\text{Д}}$ – общий коэффициент стока дождевых вод.

Параметр	Наименование объекта				
	Яхтенная марина	«Восточное побережье» Балаклавской бухты	Коллектор ЛК-1 (по ул. Новикова)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Крестовского)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Б. Хмельницкого)
F , га	99,35	324,38	315,46	107,33	53,69
$h_{\text{Д}}$, мм	390,1	390,1	390,1	390,1	390,1
$\Psi_{\text{Д}}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
W_{Γ} , тыс.м ³	155	506	492	167	84
$\sum W_{\Gamma}$, тыс. м ³	1405				

Табл.3 Расчет среднегодового объема дождевой воды

Определение расчётных объёмов поверхностных сточных вод при отведении их на очистку

Объём дождевого стока от расчётного дождя ($W_{\text{оч}}$) в м³, отводимого на очистные сооружения с территории завода, определяется по формуле п. 5.2.1 рекомендаций [2]:

$$W_{\text{оч}}=10 \cdot h_{\text{а}} \cdot \Psi_{\text{Д}} \cdot F \quad (3)$$

где F – расчетная площадь стока, в га;

$h_{\text{а}}$ – максимальный слой осадков за дождь, в мм, сток от которого подвергается очистке в полном объёме;

$\Psi_{\text{Д}}$ – средний коэффициент стока для расчетного дождя.

Табл.4 Расчет объема дождевого стока от расчетного дождя

Наименование объекта					
Параметр	Яхтенная марина	«Восточное побережье» Балаклавской бухты	Коллектор ЛК-1 (по ул. Новикова)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Крестовского)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Б. Хмельницкого)
F, га	99,35	324,38	315,46	107,33	53,69
h _а , мм	10	10	10	10	10
Ψ _д	0,49	0,24	0,37	0,37	0,37
W _{оч} , тыс.м ³	4,87	7,78	11,67	3,97	1,78

Расчетная продолжительность протекания дождевых вод по поверхности и трубам t_r определяется по формуле п. 5.3.5 рекомендаций [2]:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p \quad (4)$$

где t_{con} – продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка (время поверхностной концентрации);

t_{can} – продолжительность протекания дождевых вод по уличным лоткам до дождеприемника;

t_p – продолжительность протекания дождевых вод по трубам до рассматриваемого сечения.

Табл.5 Расчет продолжительности протекания дождевых вод

Наименование объекта					
Параметр	Яхтенная марина	«Восточное побережье» Балаклавской бухты	Коллектор ЛК-1 (по ул. Новикова)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Крестовского)	Коллектор ЛК-2 (по ул. Б. Хмельницкого)
t_{con} , мин.	10	10	42	39	33
t_{can} , мин.	26,25	26,25	10,43	13,24	14,38
t_p , мин.	42,5	63,75	10,81	12,29	7,14
t_r , мин.	78,75	100	63,24	64,33	54,52

Выводы

В дальнейшем планируется проведение лабораторных исследований ливневых стоков г. Балаклава для определения содержания основных загрязняющих веществ. Провести сравнительную характеристику полученных экспериментальных данных с нормативными показателями загрязняющих веществ сточных вод.

Согласно Постановлению Правительства, г. Севастополя планируются мероприятия по строительству и модернизации систем ливневой канализации г. Балаклава, а также возведению ливневых очистных сооружений (ЛОС) с целью очистки и обеззараживания сточных вод.

Очищенные воды можно направлять на полив парковых зон, полив городских магистралей в жаркое время года, мойку автомобилей.

Список использованных источников

1. Об утверждении схемы ливневой канализации города Севастополя: Постановление Правительства города Севастополя от 27 декабря 2019 года N 696-ПП;
2. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — Москва: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. - 88 с.;
3. Волчек, А. А. Ливневый сток как источник загрязнения поверхностных вод / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 39–41.;
4. В.М.Грузинов, Н.И.Дьяков и др. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района//Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова. Серия: Химия моря. – 2019. –№4.–С.579-590.;
5. Поварова Л.В.Рациональное использование производственных сточных вод// Кубанский государственный технологический университет. Серия: Актуальные вопросы охраны окружающей среды. – 2018. –С. 160-167.

ЗАСУХА И ОПУСТЫНИВАНИЕ В КРЫМУ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В.И. Самородова, А.Х. Дегтерев

Анализ индексов засухи и индексов атмосферной циркуляции показывает, что усиление засушливости климата Крыма связано с крупномасштабными изменениями барического поля на юге Европы и в Средиземноморье. В связи с глобальным потеплением и преобладанием антициклонического типа циркуляции в регионе в вегетационный период не только уменьшаются суммы осадков, но и увеличивается испаряемость за счет уменьшения влажности воздуха, а также увеличения температуры, скорости ветра, продолжительности солнечного сияния и радиационного баланса. Сделан вывод, что увеличение повторяемости волн жары и весенне-летней засухи в последние десятилетия являются устойчивым трендом, а не периодически повторяющимся явлением.

Введение

Актуальность темы связана с нехваткой пресной воды в Крыму. Она с давних пор сдерживала развитие экономики Крыма и рост населения в Крыму. В Советском Союзе эта проблема была решена путем строительства Северо-Крымского канала, поставлявшего на полуостров с материка днепровскую воду. Однако, в 2014 г. канал был закрыт, после чего основным источником водоснабжения в Крыму вновь стали речной сток и подземные воды. Кроме того, в последние годы усилилась засуха на юге Европы и в ряде районов юга России. По мнению многих ученых, включая научного руководителя Гидрометцентра России Р. Вильфанда, эта засуха вызвана глобальным изменением климата, и она может продлиться десятки лет.

Данные измерений подтверждают эти гипотезы. Так, среднегодовая температура воздуха в Севастополе повысилась с середины 80-х годов более чем на 2°C, уменьшились запасы влаги в почве, понизился уровень воды в реках, озерах и водохранилищах. С 90-х годов на 7 см в год стал падать уровень Каспийского моря. В Европе с 2017 по 2020 г. продолжалась сильная засуха, одним из последствий которой стали лесные пожары. На 50% увеличилась доля засушливых районов земледелия. Аналогичные явления отмечаются и в Северной Америке в тех же широтах. Это ведет к гибели лесов и урожая сельскохозяйственных культур, осложняется речное судоходство. В Крыму дополнительным фактором является увеличение численности населения, а значит и водопотребления [1].

Цель статьи

Целью данной работы является выявление и описание проблемы засухи и опустынивания в Крыму.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Оценка проблемы усиления засухи и опустынивания на сегодняшний день.
- 2) Изучить пояса давления и схемы меридиональной циркуляции воздуха.
- 3) Изучить модели суммарного испарения включая модели транспирации.
- 4) Провести анализ усиления засух в Европе и в Крыму.

Объектом исследования является климат Крыма.

Предметом исследования - изменение степени засушливости климата в Крыму и прилегающих регионах.

Основная часть

Засуха – это явление, связанное с продолжительной нехваткой влаги в виде осадков, чаще при повышенной температуре и пониженной влажности воздуха, в результате которого иссякают запасы влаги в почве, что ведет к снижению или гибели урожая. Классифицируется в зависимости от причин образования и продолжительности проявления явления как атмосферная, почвенная, гидрологическая, весенняя, летняя, осенняя, многолетняя [2]. Начало засухи обычно связано с установлением антициклона. Обилие солнечного тепла и сухость воздуха создают повышенную испаряемость (атмосферная засуха), а запасы почвенной влаги без пополнения их дождями со временем истощаются (почвенная засуха). Как правило, для этого достаточно 2 – 3 недели.

Процесс опустынивания не является какой-то специфической особенностью нашего региона. Пустыни и полупустыни занимают третью часть поверхности суши, то есть около 50 млн. км². За год их площадь на планете увеличивается на 60 тысяч км². Это природные зоны где очень засушливые условия, бедная растительность и фауна. Обычно они располагаются на равнинах, поэтому в связи с отсутствием гор, лесов или других существенных препятствий там сильный ветер. Одним из современных трендов глобального изменения климата является увеличение площади этих зон очень сухого климата. Еще 50 лет назад на них проходило только 15% площади суши, а сейчас – уже вдвое больше. Только на жаркие пустыни (где температура самого холодного месяца выше нуля) сейчас приходится 14% территории суши, это самый распространенный климат на планете, не считая полярного климата.

Зона пустынь образует в области умеренных широт непрерывный пояс в Евразии, его северная граница проходит как раз в районе 45 – 48° с.ш. Для полупустынь характерно отношение испаряемости к осадкам, равное 5, а в степном Крыму оно и сейчас в отдельные месяцы больше 6. Количество осадков в пустынях не превышает 250 мм, а часто и менее 100 мм. В полупустынях – до 300 мм и это уже сейчас близко к показателям ряда районов Крыма, например, Северной стороны Севастополя и прилегающих к ней территорий [3].

Сильнейшая засуха в Европе была уже в 2003 г. В мае 2011 г. уровень Дуная упал так сильно, что стало невозможным движение судов из-за обмеления русла. В качестве причины этого явления указывалось на отсутствие осадков в Центральной и Восточной Европе в течение трех месяцев. В 2017 г. во всей Южной Европе наблюдалась самая продолжительная за 20 лет засуха, из-за которой потери урожая составили в Италии до 70%. Причем, не только пшеницы и подсолнечника, но и миндаля. Пересыхали водохранилища и реки. Из-за этой засухи были также многочисленные лесные пожары во Франции, Португалии, Испании. В том же 2017 году была сильная засуха в Ростовской области, заметно понизился уровень Дона. Сопоставление индексов засухи и индекса Северо-Атлантического колебания показывает, что в засуху 2010 г. значение индекса NAO было беспрецедентно низким. В то же время ряд засух, включая засуху 2017-2020 г. приходятся на теплые эпизоды индекса Эль-Ниньо.

Между опустыниванием и растительным покровом существуют устойчивые отрицательные обратные связи. В частности, растительность отражает или перехватывает существенную часть солнечной радиации. Кроме того, в лесах максимум температуры находится не на поверхности земли, а на кронах деревьев. Анализ зависимости коэффициента отражения (альбедо) растений от длины волн солнечного света показывает, что роль растений в отражении солнечного света существенно недооценивалась в инфракрасной области спектра. При этом на данную область приходится половина

интенсивности солнечной радиации. При отсутствии растительности аналогичный эффект дает укрывание поверхности почвы агротканью, что ведет к уменьшению потерь влаги на физическое испарение.

Результаты компьютерного моделирования изменения климата показывают, что в ближайшем будущем засухи в Европе будут становиться еще сильнее и еще продолжительнее. Это будет связано не только с уменьшением осадков, но и с увеличением испаряемости вследствие повышения температуры воздуха и почвы, а также из-за усиления скорости ветра. Моделирование показало, что повышение температуры на 3°C приведет к увеличению площади засушливых земель в Европе в два раза, а продолжительности засух – более чем в три раза [4].

В результате в Средиземноморье, климат которого близок к климату Крыма, на засушливые районы будет приходиться половина территории. Ожидается также увеличение здесь количества сухих месяцев в году с 2,1 до 5,6, а в отдельных районах Пиренейского полуострова – до 7 месяцев. Содержание воды в корнеобитаемом двухметровом слое земли, то есть запас доступной растениям влаги, уменьшится на 35 мм. На самом деле такие явления уже фиксировались в Европе, например, летом 2003 г., но они потом станут повторяться в два раза чаще.

В последние годы нехватку воды в Крыму как правило связывают не с усилением засушливости климата, а с перекрытием Северо-Крымского канала и износом систем водоснабжения. Надо признать, что отчасти это действительно так, однако свою роль здесь играет и усиление засух в Крыму [5].

Более того, многочисленные исследования показывают, что усиление засух за последние два десятилетия характерно не только для всего юга России, но и для всего юга Европы, включая такие ближайшие к Крыму страны и регионы, как Республика Молдова, Украина, Ростовская область и Краснодарский край. Все это дает основания считать усиление засушливости климата в нашем регионе проявлением определенных глобальных изменений в климатической системе [6].

Это подтверждается расчетами индексов засухи, в том числе индекса суровости засух Пальмера для разных годов. По оценкам, основанным на результатах моделирования климата по десяткам компьютерных моделей, признанных экспертами международной группы МГЭИК (IPCC), к 2030-м годам, то есть примерно через 10 лет, все северное Причерноморье, включая Крым, уже будет входить в зону опустынивания. Обращает на себя внимание не только смещение зоны опустынивания на север в Европе и Северной Америке до 50°с.ш., но и значительное усиление степени засушливости климата на территории уже существующих аридных зон. Однако, прогнозируемый в Крыму уровень сухости тем не менее будет все же гораздо ниже, чем в странах Средиземноморья или Центральной Америки.

Выводы

Засушливость климата Крыма за последние два десятилетия усилилась. Уже сейчас на 44% его территории очень засушливые условия, на 33% - просто засушливые. Это существенно больше, чем средняя доля пустынь и полупустынь на поверхности суши.

Одним из возможных объяснений наблюдаемого усиления засушливости климата Крыма и юга Европы может быть такое изменение глобальной циркуляции атмосферы (в частности, ячейки Ферреля в умеренных широтах), в результате которой смещается на север пояс высокого давления и связанный с ним пояс пустынь и полупустынь. В свою очередь,

это может быть обусловлено таянием льдов Арктики, что уже вызывает заметное смещение климатических зон к северному полюсу. Кроме того, происходит также расширение ячейки меридиональной циркуляции в низких широтах (ячейки Хедли). С 80-х годов 20-го века границы климатических зон сместились на север на 3 градуса широты. Через 20-30 лет в нашем регионе прогнозируется климат, характерный для современных пустынь и полупустынь, расположенных в зоне 35°–40°с.ш. Это требует уже сейчас перенимать опыт стран, расположенных в этой зоне, в части реализации мер по адаптации к изменениям климата, в том числе в системах водоснабжения, в аграрном секторе, в обустройстве парков и курортных зон. К таким мерам относится, в частности, изменение севооборота в засушливые годы, переход на другие сельскохозяйственные культуры. Необходимо, также, на долгосрочной основе увеличивать количество и объемы водохранилищ, ориентируясь на стандарты стран Южной Европы.

Список использованных источников

1. Золотокрылин А. Н. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления / А. Н. Золотокрылин, В. В. Виноградова, Е. А. Черенкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2007. – Т. 21. – С. 160-181.
2. It's a scorcher - and Ireland is officially 'in drought' (англ.). URL: <https://www.independent.ie/irish-news/its-a-scorcher-and-ireland-is-officially-in-drought-29431138.html> (Дата обращения: 20 мая 2021).
3. Кашкаров Д. Н. Жизнь пустыни. Введение в экологию и освоение пустынь. — М.— Л., 1936. — С. 250.
4. Изменение климата, Обобщенный доклад. Под редакцией: Роберта Т. Уотсона. (Всемирный банк) и основной группы авторов. – 2007 г.
5. Переведенцев Ю.П. Теория общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / Ю.П. Переведенцев, И.И. Мохов, А.В. Елисеев и др.; науч. ред. Э.П. Наумов. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 224 с.
6. Изменение климата и Земля. МГЭИК. – 2019.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Шайтор Н.М., Санников К.К., Велиляев А.С.

Проведен обзор на современные системы возбуждения современных компаний, определены преимущества компаний и продукции, а также перспективы ее применения. Дан анализ областей применения тиристорных систем возбуждения, рассмотрены их достоинства и недостатки. Рассмотрены перспективы применения и развития систем возбуждения в современных установках электрической генерации.

Введение

Большая часть электроэнергии, необходимая для жизнедеятельности человечества, вырабатывается синхронными генераторами (СГ). Генераторы этого типа используются на тепловых, атомных электростанциях, в гидроэлектростанциях, в ветроэлектрических установках. В энергетике мощность синхронных машин достигает 1500 МВт (турбогенераторы в двухполюсном исполнении) и 2000 МВт (турбогенераторы в четырехполюсном исполнении) [1]. В автономных электроэнергетических установках, электроэнергетических станциях (ЭЭС) используются синхронные генераторы меньшей мощности.

АО «Силовые машины» – крупнейшая энергомашиностроительная компания России, имеющая международный опыт и компетенцию в области проектирования, изготовления и комплектной поставки оборудования для тепловых, атомных различных отраслей промышленности, транспортной и судовой энергетики.

Компания «Силовые машины» создает эффективные комплексные проекты для мировой энергетики, опираясь на полуторавековой опыт производственных активов компании и применяя новейшие достижения науки и техники.

Оборудование, изготовленное и поставленное предприятиями компании, работает в 57 странах мира и в настоящее время насчитывает более 300 000 МВт установленной мощности.

Цель работы

Целью исследования является обзор основных отечественных систем возбуждения, анализ их достоинств и недостатков, а так же перспектив их применения и развития в современных установках электрической генерации.

Современные системы возбуждения СГ

Возбуждение электрической машины можно определить, как создание в ней основного магнитного потока. Для возбуждения СГ широко применяют изделия силовой электроники в замену устаревшим электромагнитным системам возбуждения (СВ).

В России основным производителем тиристоров является АО «Электровыпрямитель». Из зарубежных производителей тиристоров можно выделить фирму АВВ, выпускает тиристоры на напряжения до 8500 В и токи более 4000 А.

Типичная структура оборудования электростанции представлена на рисунке 1.

Рис 1. Типичная структура электростанции

Тиристорные системы возбуждения СГ

Системы независимого возбуждения (СТН).

Если на электростанции создана надежная сеть собственных нужд, имеющая основное и резервное питание, то возбуждение СГ можно осуществлять от этой сети.

Для примера на рисунке 2. изображена тиристорная независимая система возбуждения, которая поставляется АО «Силовые машины».

СТН предназначены для питания обмоток возбуждения крупных турбо- и гидрогенераторов выпрямленным регулируемым током. В отличие от систем самовозбуждения, в СТН тиристорный выпрямитель главного генератора получает питание от независимого источника напряжения переменного тока промышленной частоты – вспомогательного синхронного генератора (GE), вращающегося на одном валу с главным генератором. При этом вспомогательный генератор возбуждается по схеме самовозбуждения.

СТН обладает высоким быстродействием, обеспечивает быстрое снятие возбуждения. Другое достоинство СТН – независимость возбуждения от длительности и удаленности коротких замыканий в энергосистеме. К недостаткам СГ с СТН можно отнести наличие щеток.

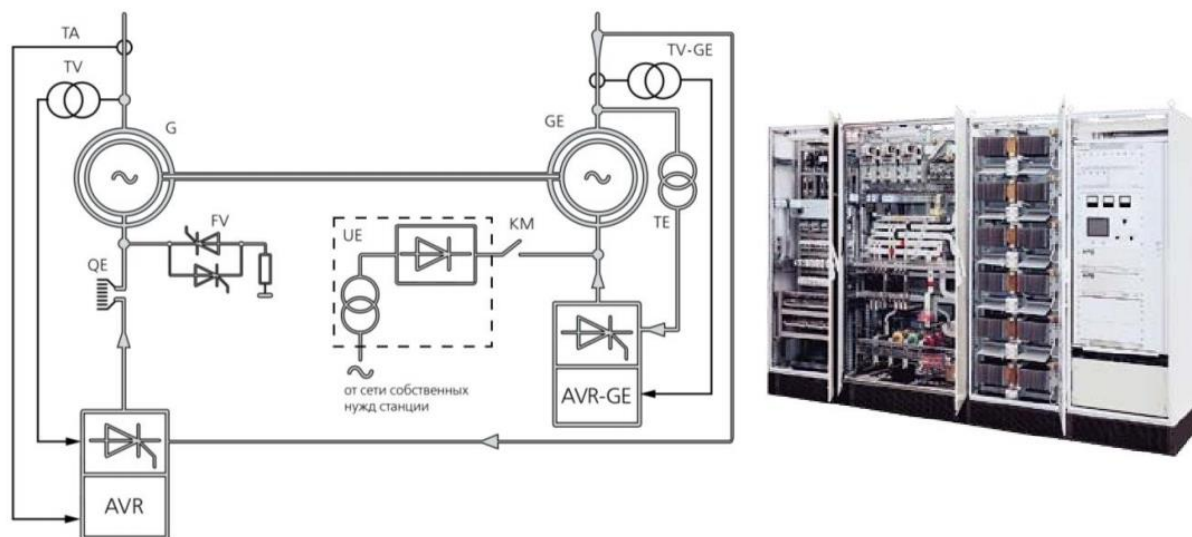


Рис 2. Система тиристорная независимая СТН

На рисунке 2 изображены: AVR – автоматический регулятор возбуждения; AVR-GE – автоматический регулятор возбуждения вспомогательного генератора; G – генератор; GE – вспомогательный генератор; KM – контактор начального возбуждения; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; UE – устройство начального возбуждения; TE – выпрямительный трансформатор; TV-GE – измерительный трансформатор напряжения вспомогательного генератора; TA, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения генератора.

Параметры СТН не зависят от процессов, протекающих в энергосистеме. Благодаря своей конструкции СТН обеспечивает:

- независимость возбуждения от длительности и удаленности коротких замыканий и других возмущений в энергосистеме;
- высокую скорость нарастания напряжения возбуждения;

–быстрое снятие возбуждения за счет изменения полярности напряжения возбуждения.

Системы самовозбуждения

Системы тиристорные самовозбуждения (СТС).

Ко многим системам генерации электроэнергии предъявляется требование к обеспечению их автономной работы. Независимость СГ от других устройств электроснабжения обеспечивается при реализации в системах структур самовозбуждения. СГ со статическими системами самовозбуждения поставляются многими известными фирмами.

В качестве примера рассматриваемых систем на рисунке 3 представлена схема тиристорной системы самовозбуждения типа СТС для мощных турбо- и гидрогенераторов АО «Силовые машины».

СТС предназначены для питания обмоток возбуждения турбо- и гидрогенераторов выпрямленным регулируемым током. Питание тиристорного выпрямителя осуществляется через трансформатор (ТЕ), подключенный к главным выводам генератора. Для запуска генератора предусмотрена цепь начального возбуждения (UE), которая автоматически формирует кратковременный импульс напряжения на обмотке ротора до появления ЭДС обмотки статора генератора, достаточной для поддержания устойчивой работы тиристорного преобразователя в цепи самовозбуждения.

На этом же рисунке представлена фотография ПГУ-450, на которой установлены турбогенераторы ТФГ- 160 с возбудителями типа СТС.

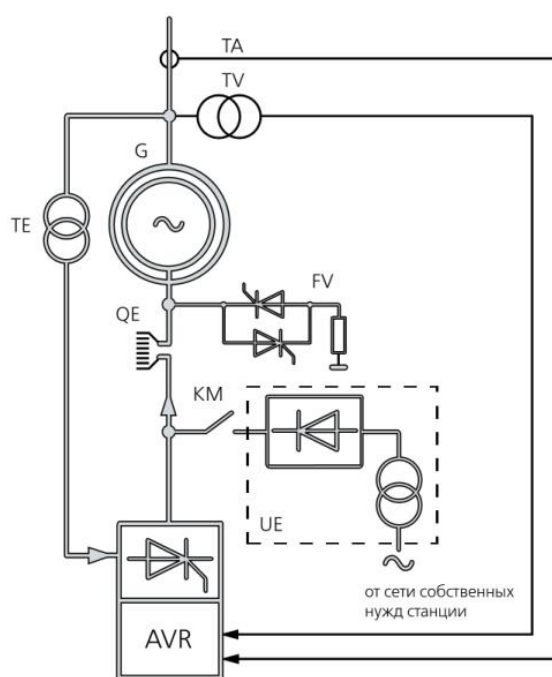


Рис 3. Система самовозбуждения СТС генератора ТФГ - 160 (АО «Силовые машины»), фотографии оборудования ПГУ-450 и возбудителя

На рисунке 3 изображены: AVR – автоматический регулятор возбуждения; G – генератор; KM – контактор начального возбуждения; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; UE – устройство начального возбуждения; ТЕ – выпрямительный трансформатор; ТА, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения генератора.

Питание цепей начального возбуждения осуществляется как от стационарной аккумуляторной батареи, так и от источника переменного тока собственных нужд электростанции. Защита ротора от перенапряжений выполняется на основе быстродействующих тиристорных разрядников (FV).

Интенсивное гашение поля генераторов в нормальных условиях эксплуатации достигается за счет перевода тиристорного преобразователя в инверторный режим изменением полярности напряжения возбуждения. Экстренное снятие возбуждения в аварийных режимах обеспечивается автоматом гашения поля (QE) – электрическим аппаратом специальной конструкции, который при срабатывании производит оптимальное гашение поля генератора, заключающееся в минимизации времени гашения поля при соблюдении предельно допустимой по условиям электрической прочности изоляции величине напряжения на обмотке возбуждения.

Бесщеточные системы возбуждения СГ

При возбуждении СГ через контактные кольца необходимо обслуживание этих колец (замена щеток, удаление угольной пыли, шлифовка колец). При большой мощности машин увеличивается диаметр контактных колец и угольные щетки снашиваются быстрее. При выполнении СГ на повышенную скорость вращения также повышается износ щеток, необходима более точная балансировка ротора. Указанные недостатки устраняются при использовании бесщеточных систем возбуждения.

Применение бесщеточных возбудителей благодаря их главному достоинству – отсутствию скользящего контакта в цепи обмотки ротора турбогенератора – позволяет обеспечить возбуждение сверхмощных машин, токи возбуждения которых превышают 5500 А. Использование бесщеточных систем для возбуждения турбогенераторов приводит к существенному уменьшению массогабаритных показателей аппаратуры возбуждения.

Системы бесщеточные диодные (СБД) предназначены для питания обмоток возбуждения турбогенераторов выпрямленным регулируемым током. Бесщеточный возбудитель представляет собой синхронный генератор обращенного типа, якорь которого с обмоткой переменного тока и диодным выпрямителем жестко соединен с ротором турбогенератора. Обмотка возбуждения возбудителя расположена на статоре возбудителя. Регулирование возбуждения генератора осуществляется управлением током обмотки возбуждения возбудителя.

Типовой комплект системы включает в себя автомат гашения поля (QE), тиристорный разрядник (FV) и два преобразовательно-регулирующих канала (AVR-1 и AVR-2), один из которых находится в активном режиме (AVR-1), другой (AVR-2) – в горячем резерве. В частном случае основной канал регулирования получает питание от выпрямительного трансформатора, подключенного к главным выводам генератора, резервный – через трансформатор от шин собственных нужд электростанции. Осуществляется поставка турбогенераторов (мощностью до 660 МВт) в комплекте с бесщеточной системой возбуждения и подвозбудителем с постоянными магнитами (PMG – permanent magnet generator). Силовые преобразовательные каналы могут быть выполнены на основе IGBT-транзисторов или тиристоров, регулирующие каналы – цифровые, на базе сертифицированного автоматического регулятора возбуждения типа AVR-45M.

На рисунке 4 представлена схема бесщеточного возбуждения СГ, разработанного в АО «Силовые машины».

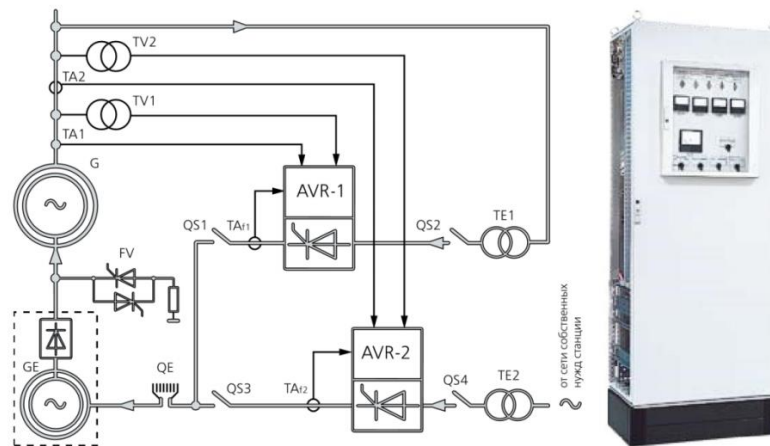


Рисунок 4. Система бесщеточная диодная СБД с тиристорным возбуждением возбудителя (АО «Силовые машины»)

На схеме рисунка 4 изображено: AVR- 1, AVR-2 – автоматические регуляторы возбуждения основного и резервного каналов соответственно; G – генератор; GE – возбудитель; QS 1, QS2, QS3, QS4 – разъединители; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; TE 1, TE2 – выпрямительные трансформаторы; TA 1, TA2, TV 1, TV2 – измерительные трансформаторы тока и напряжения основного и резервного каналов; TAf 1, TAf2 – датчики тока возбуждения возбудителя.

Выводы

Из обзора и анализа материалов, посвященных системам возбуждения современных синхронных электрических машин, с учетом опыта разработок и исследований авторов, вытекают следующие преимущества систем возбуждения:

–Максимальная безопасность обслуживающего персонала и оборудования обеспечивается комплексом специальных мероприятий, в том числе применением оптических кабелей и тиристорных преобразователей выкатной конструкции.

–Удобство обслуживания щитов возбуждения достигается сочетанием блочно-модульной конструкции, обеспечивающей удобный доступ к любому элементу щита, с рациональным расположением органов управления, сигнализации, приборов и контрольных точек.

–Разнообразие конструктивных исполнений систем охлаждения тиристорных преобразователей: водяное, принудительное воздушное или естественное воздушное.

–Улучшенный дизайн щитов с учетом европейского стандарта эргономических характеристик достигается использованием современных конструкционных материалов

Электромашинные системы возбуждения, выпущенные предприятием АО «Силовые Машины» более полувека назад и находящиеся до сих пор в эксплуатации, могут быть заменены по желанию потребителя на современные полупроводниковые статические системы с любым набором заданных функций.

Многочисленные попытки создания и внедрения релейных защит от межвиткового замыкания обмотки статора не получили широкого применения из-за сложности конструкции и недостаточной чувствительности к замыканиям между витками одной фазы статора.

Высокий уровень интеграции современных микропроцессоров, большой объем памяти, высокое быстродействие, развитая периферия позволяют объединять в одном процессоре:

функции автоматического регулирования напряжения, регулятора тока ротора (ручное управление), управления тиристорным преобразователем, ограничителей минимального и максимального токов возбуждения, ограничителя перегрузки с время зависимой характеристикой и т.д

Авторы статьи поддерживают идею создания защиты от витковых замыканий путём реагирования кольцевой измерительной катушки, расположенной внутри двигателя, на потоки рассеяния лобовых частей статорной обмотки двигателя при коротком замыкании внутри обмотки, в комбинации с микропроцессорными защитами. Усовершенствования защиты, предлагаемые авторами статьи, позволяют отстроиться от ложного срабатывания при несимметрии питающего напряжения, повысить чувствительность и перейти к практической реализации защиты. Очевидно, что в комплексе с микроэлектронной и микропроцессорной защитой, предлагаемое устройство способно обеспечить высокую эффективность защиты, включая защиту обмоток статора электрических машин от межвитковых коротких замыканий.

Список используемых источников

1. Электрическая часть станций и подстанций / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова, М.Н. Околович. М.: Энергоатомиздат, 1990. 551 с. Привалов Е.Е. Диагностика асинхронных двигателей электроэнергетического оборудования. Москва, 2015. 70 с.
2. SIPOL Transistorized Excitation Systems for Synchronous Generators / Siemens AG Power Generation, 2004.
3. Boldea I., Synchronous Generators / Boca Raton: CRC Press, 2005. - 448 p.
4. ГОСТ 21558-2000. Межгосударственный стандарт. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Дата введения 2003-07-01.
5. Силовые машины. Системы возбуждения. URL:[2019 Systemi vozbuzhdenia rus.pdf](http://2019.Systemi.vozbuzhdenia.rus.pdf) (power-m.ru) (Дата обращения 02.04.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА УПРАВЛЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЕМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОЙ СВЯЗИ ПО ЭЛЕКТРОСЕТИ 220 В, 50 ГЦ

Ю.М. Быковский, Н.А. Ситников, И.М. Московкина

В данной статье рассматривается исследование, направленное на изучение генератора управляемого напряжением, с целью разработки системы передачи голосовой связи по электросети 220В, 50 Гц. Данное исследование может быть использовано для последующих научных работ или применено как основа будущего проекта.

Введение

Использование сети 220 В, 50 Гц, как средства передачи данных между двумя и более устройствами, давно является предметом интереса разработчиков [1]. Около тридцати лет назад идея использования бытовой электросети для установления связи не могла быть воспринята всерьез. В настоящее же время передача данных по высоковольтной сети имеет очень хорошие шансы на коммерческий успех. Бесспорным достоинством использования высоковольтной связи для передачи информации является отсутствие необходимости проводить кабель и электромонтажные работы. Сложность постановки таких сетей заключается в том, что не существует единых норм, сети очень шумные, их параметры сильно меняются при изменении нагрузки.

При передаче данных по сети 220 В, 50 Гц высокочастотный сигнал стремительно затухает. Должна быть обеспечена способность технических средств одновременно функционировать при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех, не создавая недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам, и, соответственно, развязка передачи данных от потребления электроэнергии.

Цель работы

Целью данной работы является изучение генератора управляемого напряжением как средства разработки системы передачи голосовой связи по электросети 220В, 50 Гц. Рассмотреть способы модуляции голоса и виды модуляций.

Анализ проблемы, ее актуальность

Работа любого предприятия не обходится без связи между его подразделениями. Допустим необходимо мгновенное принятие решения по какому-то вопросу, но нет времени дожидаться курьера, а интересующий объект находится в подвальном помещении, где нет кабелей телефонной связи. Следует также учесть проблему того, что не на каждом предприятии разрешается применение телефонной и радиосвязи. Такими предприятиями могут быть как закрытые военные или научно-исследовательские объекты, так и любые объекты повышенной секретности.

При расширении и реконструкции предприятий возникает проблема прокладки новых линии связи. Так же необходимо проведение связи в труднодоступных помещениях. Изначально, при постройке зданий, разрабатывается схема электрификации. Поэтому целесообразно было бы использовать эту проводку и для осуществления связи между помещениями. В этом и заключается актуальность разрабатываемого решения.

Способы модуляции голоса

Модуляция [2] — процесс изменения одного или нескольких параметров модулируемого несущего сигнала при помощи модулирующего сигнала.

Передаваемая информация заложена в модулирующем сигнале, а роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое несущим. Модуляция - процесс «посадки» информационного колебания на заведомо известную несущую с целью получения нового модулированного сигнала.

В результате модуляции спектр низкочастотного управляющего сигнала переносится в область высоких частот. Это позволяет при организации вещания настроить функционирование всех приёмно-передающих устройств на разных частотах с тем, чтобы они «не мешали» друг другу.

В качестве несущего могут быть использованы колебания различной формы, однако чаще всего применяются гармонические колебания. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания изменяется, различают виды модуляции (амплитудная, частотная, фазовая и др.). Модуляция выполняется с целью передачи информации посредством электромагнитного излучения. Передаваемые данные содержатся в управляющем сигнале. В роли несущего колебания могут быть использованы колебания разнообразной формы, графики которых представлены на рисунке 1.

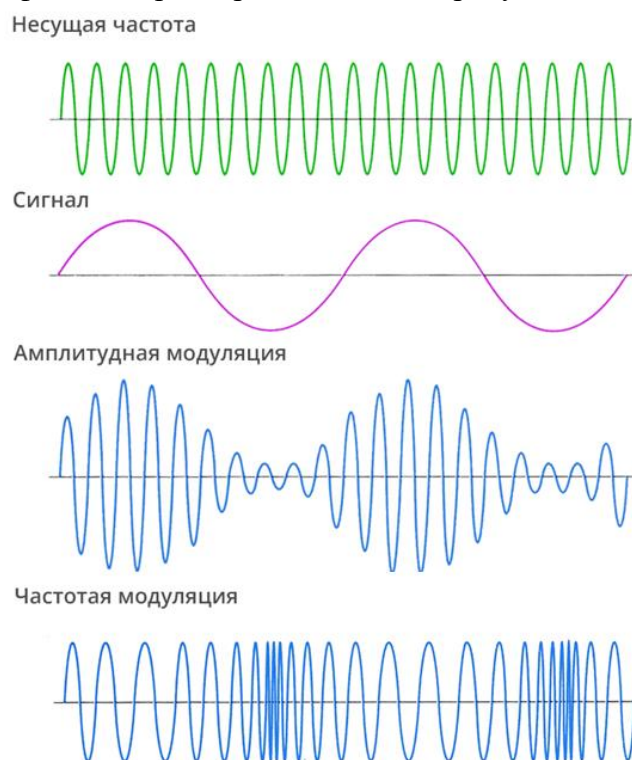


Рис. 1 – Виды модуляций

Амплитудная модуляция

На вход [1] модулирующего устройства передается моделирующий и опорный сигналы, в результате, на выходе имеется смодулированный сигнал. Условием корректного преобразования считается удвоение значение несущей частоты в сравнении с максимальным значением полосы модулирующего сигнала. Данный тип модуляции достаточно прост в исполнении, но отличается невысокой помехоустойчивостью.

Если переменной оказывается амплитуда сигнала $U(t)$, причём остальные два параметра μ и φ неизменны, то имеется амплитудная модуляция несущего колебания. Форма записи амплитудно-модулированного, или АМ- сигнала, такова:

$$U_{AM}(t) = U \cos(\omega_0 + \varphi_0) \quad (1)$$

В соответствии с формулой (1) АМ-сигнал есть производная огибающей $U(t)$ и гармонического заполнения. В ходе исследований была испытана схема в среде EWB, [3] изображённая на рисунке 2.

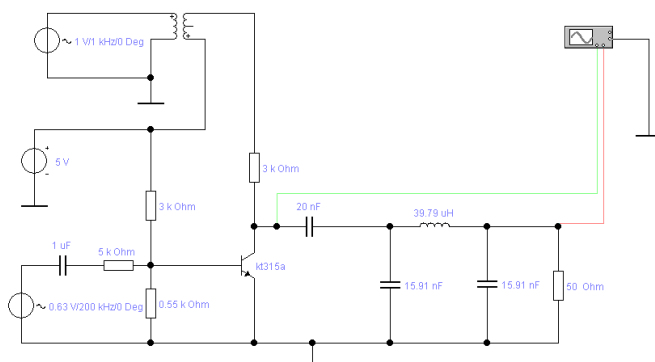


Рис. 2 – Схема исследования амплитудной модуляции.

В результате была получена осциллограмма, изображённая на рисунке 3.

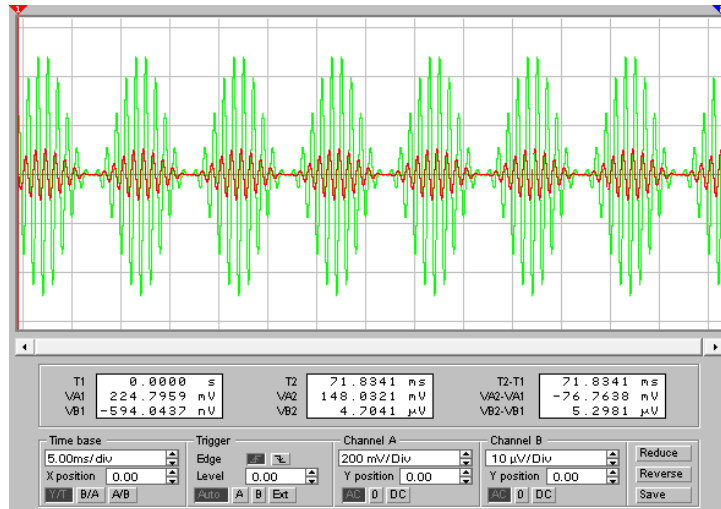


Рис. 3 – Осциллограмма АМ сигнала.

Частотная модуляция

На рисунке 4 изображена схема исследования частотной модуляции в среде EWB.

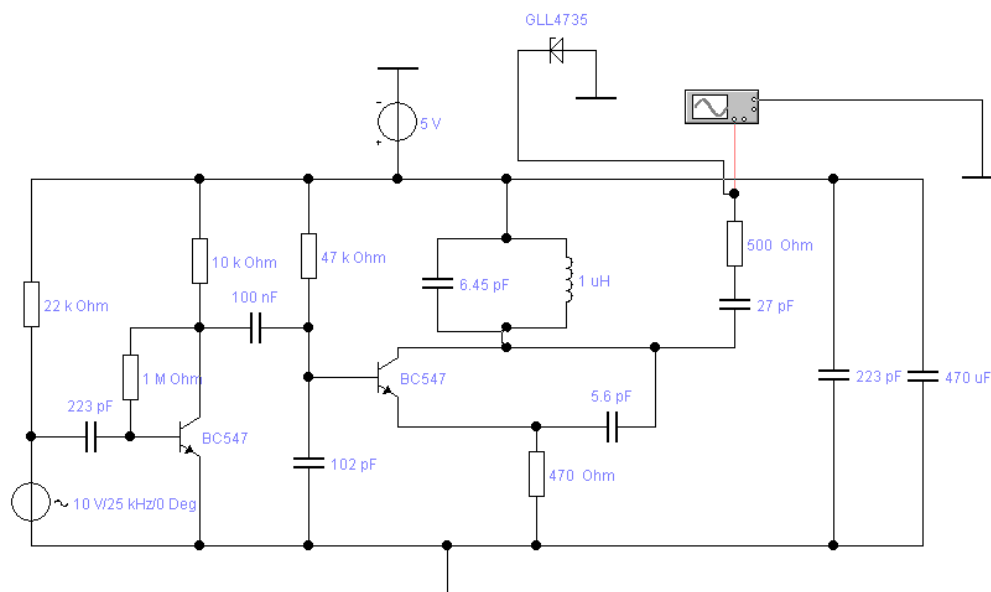


Рис. 4 – Схема исследования частотной модуляции.

В результате была получена осциллограмма, изображённая на рисунке 5.

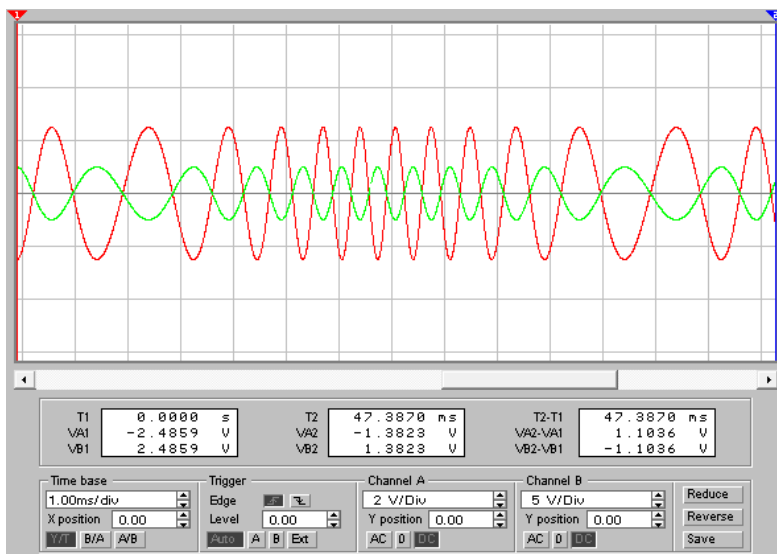


Рис. 5 – Осциллограмма FM сигнала

В результате данного типа модуляции [2] сигнал модулирует частоту опорного сигнала, а не мощность. Поэтому, если величина сигнала увеличивается, то, соответственно, растет частота. Такая модуляция характеризуется высокой помехоустойчивостью, однако для ее применения следует использовать высокочастотный диапазон.

Генератор управляемый напряжением

ГУН [4] представляет собой высокочастотный генератор [4], его частота модулируется сигналом микрофонного усилителя, и уже модулированный сигнал постанет через согласующее устройство в сеть. В зависимости от напряжения входного сигнала ГУН генерирует несущую частоту. В данной работе будет приниматься частота, не кратная 50 Гц сети, и, исходя из этих соображений, будет приниматься 94 кГц за несущую. На рисунке 6 представлена схема ГУН.

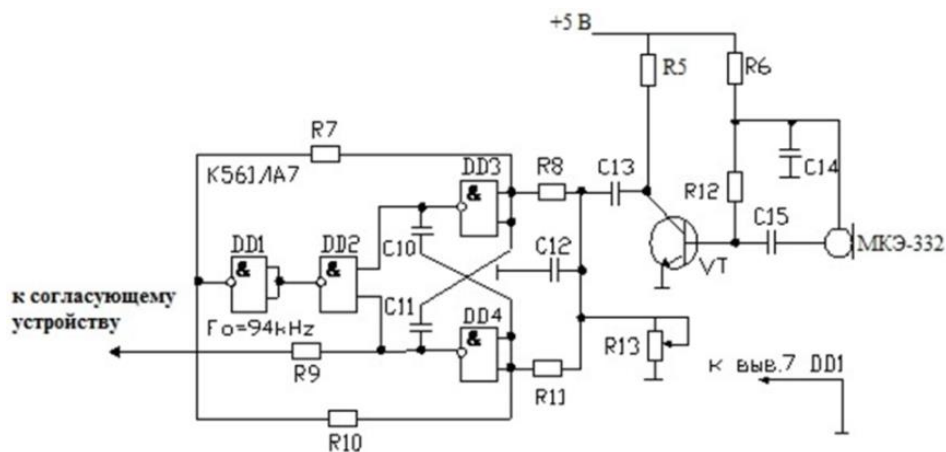


Рис. 6 – ГУН

Генератор, управляемый напряжением, построен на МОП микросхеме K561ЛА7[6], которая содержит 4 элемента «2И-НЕ» и питается напряжением 3...15 В.

Работа схемы ГУН

Низкочастотный сигнал переменного напряжения с микрофона усиливается каскадом на транзисторе VT [5] и подается на управляемый напряжением генератор прямоугольных импульсов на DD1, в такт изменению входного напряжения меняется частота выходного сигнала. Причём VT2 в начальном состоянии находится в среднем положении, которое равняется половине питающего напряжения. Начальную частоту генератора устанавливают при отсутствии сигнала с микрофона, равной 94 кГц, с помощью подстроечного резистора R13.

Резисторами R12 и R6 транзистор переводится в режим работы класса А, но до работы микрофона не влияет на начальную частоту f_0 генератора. При работе микрофона напряжение базы изменяется относительно начального значения, что вызывает изменение частоты автогенератора. В эксперименте было установлено, что с увеличением сопротивления потенциометра уменьшается частота АГ и наоборот. Это связано с тем, что через сопротивление R8, равное 56 кОм, и потенциометр R13 происходит заряд-разряд конденсатора обратной связи. Выходной сигнал с ГУН будет управлять транзистором, который непосредственно связан с согласующим устройством и стоит на выходе генератора. Уравнение заряда выражаются в виде:

$$U_c = E_n(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (2)$$

В соответствии с формулой (2) чем больше $\tau = RC$, тем дольше заряжается конденсатор до $U_C = E_n$ и тем меньше частота АГ.

Общая схема ЧМ передатчика представлена на рисунке 4.

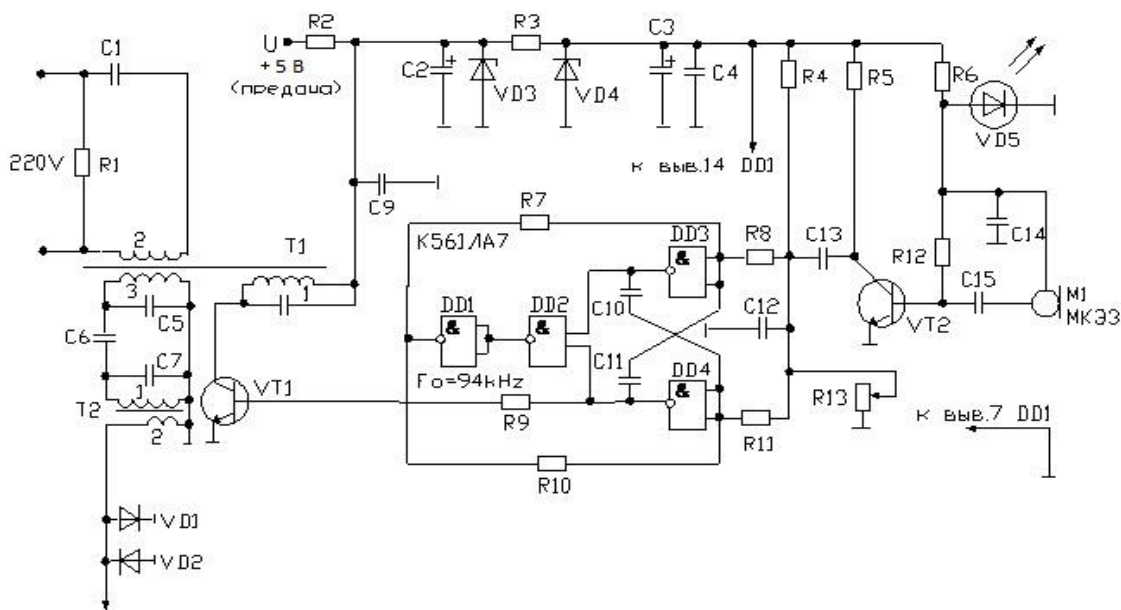


Рис.7– Общая схема ЧМ передатчика

Описание работы схемы устройства

Для передачи [1] используется частотная модуляция и несущая частота, равная 94 кГц. Устройство питается от сети. Излишек гасится конденсатором, и пониженное напряжение выпрямляется диодным мостом. Далее оно фильтруется и ограничивается стабилитроном [5] КС520 и используется для питания выходного каскада на VT1. Напряжение, снимаемое со стабилитрона КС210, используется для питания остальной части устройства. НЧ сигнал с микрофона усиливается каскадом на VT2 и подается на управляемый напряжением генератор прямоугольных импульсов на DD1(ЧМ модулятор). Начальную частоту генератора устанавливают при отсутствии сигнала с микрофона, равной 94 кГц, с помощью подстроечного резистора R13. Далее сигнал с генератора подается на выходной каскад на VT1. В коллекторную цепь включен трансформатор [5], первичная обмотка которого настроена на частоту несущей. Сердечник трансформатора и обмотки изолированы фторопластом.

Настройку проводят с использованием ИП в районе +5В, подключаемого плюсом в точку А на схеме. Закоротив базу VT2, подстроечным резистором устанавливают частоту генератора равной 94 кГц. Выходной каскад настраивают подбором конденсатора в коллекторной цепи по минимуму искажений синусоиды или, если нет осциллографа, по максимуму сигнала на вторичной обмотке трансформатора. Сигнал на смеситель подается через двухконтурный полосовой фильтр на частоту 94 кГц, выполненный на кольцах с данными, аналогичными трансформатору передатчика.

Выводы

Рассмотрены результаты исследования, целью которого являлось изучение генератора управляемого напряжения как средства разработки системы передачи голосовой связи по электросети 220В. В ходе данного исследования был изучен способы модуляции голоса, видами модуляций, ГУН, схемой частотного передатчика, и способом его работы. В будущем это исследование станет наработкой для создания изучения системы передачи голосовой связи 220В, 50Гц.

Список использованных источников

1. Шинаков, Ю. С. Теория передачи сигналов электросвязи / Ю. С. Шинаков, Ю. М. Колодяжный. — Москва: Радио и связь, 1989.
2. Общие сведения по модуляции сигналов
3. <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/494-vidy-modulyatsii-signalov.html>
4. Хернтер М. Е. Самоучитель по Electronics Workbench Multisim- М.: Издательский дом ДМК-пресс, 2006.- 488 с., ил.
5. ГУН: <http://madelectronics.ru/gadget/302/gun.htm>
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. — М.: Мир, 1982.—512 с., ил.
7. Схемы на K561ЛА7
8. <http://radioamator.ru/nachinayushchim/skhemy-nachinayushchim/1691-skhemki-na-k561la7>

АНАЛИЗ РАБОТЫ ОДНОКАНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО USB-ОСЦИЛЛОГРАФА С КОММУТАТОРОМ П323

Ю.М. Быковский, Б.А. Абдураманов, Д.Г. Кучма

В современной науке и технике для проведения научных исследований широко применяются цифровые USB-осциллографы. Если прибор одноканальный, то значительно расширить его функциональные возможности позволяет применение электронного коммутатора. Однако подобные устройства нашли применение, в основном, для аналоговых электронно-лучевых осциллографов. Применение их совместно с цифровыми USB-осциллографами мало изучено и не вполне очевидно. В статье рассмотрена возможность применения коммутатора П323 с USB-осциллографом.

Введение

В настоящее время проводится много исследовательских и лабораторных работ с использованием осциллографов. Данные приборы полезны не только для анализа электрических схем, но и любых других механизмов, что достигается преобразованием сигнала необходимой физической величины в электрический. Для анализа одного сигнала достаточно одноканального осциллографа, однако в современной практике наибольший интерес представляет анализ совокупности двух (и более) функционально связанных сигналов и оценка соотношений их форм, амплитуд и фаз.

Цель работы

Целью данной работы является анализ возможности применения электронного коммутатора П323 для реализации 2-канального режима USB-осциллографа PV6501.

Анализ методов коммутации сигналов для аналоговых осциллографов

Для наблюдения за двумя сигналами в аналоговых однолучевых осциллографах используют метод электронной коммутации [1].

При этом нашли применение два подхода к коммутации:

1. Покадровое выведение на экран осциллографа (персонального компьютера) исследуемых сигналов;
2. Выведение на экран точечных фрагментов каждого графика с помощью внешнего высокочастотного генератора.

Первый метод предполагает поочередное переключение сигнала, поступающего к входу осциллографа именно в тот момент, когда был до конца выведен предыдущий сигнал. Учитывая инерционность зрения комфортное наблюдение таких сигналов возможно при частоте смены кадров не менее 100 Гц. Недостатком такого подхода является разнесение демонстрации сигналов на время полного периода развёртки осциллографа. При этом не выводимая в данный период времени информация с другого канала не контролируется, может существенно измениться и будет потеряна для дальнейших исследований.

Второй метод заключается в переключении входных сигналов с частотой, на порядки выше частоты исследуемых сигналов. При этом каждый сигнал воспроизводится своим фрагментом кривой в пределах времени, задаваемого внешним генератором. Данный вид переключения иллюстрируется на рисунке 1.

Этот метод, в отличие от предыдущего, даёт синхронно полную информацию о соотношениях параметров двух сигналов, однако разнесение на полпериода частоты переключения фрагментов каждого из графиков может быть причиной потери важной импульсной информации (выбросов) в пассивные для данного графика моменты (см. на рис. 1). Для уменьшения влияния этого фактора необходимо выбирать частоту переключений, задаваемую ВЧ генератором, наибольшей из возможных для элементов системы коммутации.

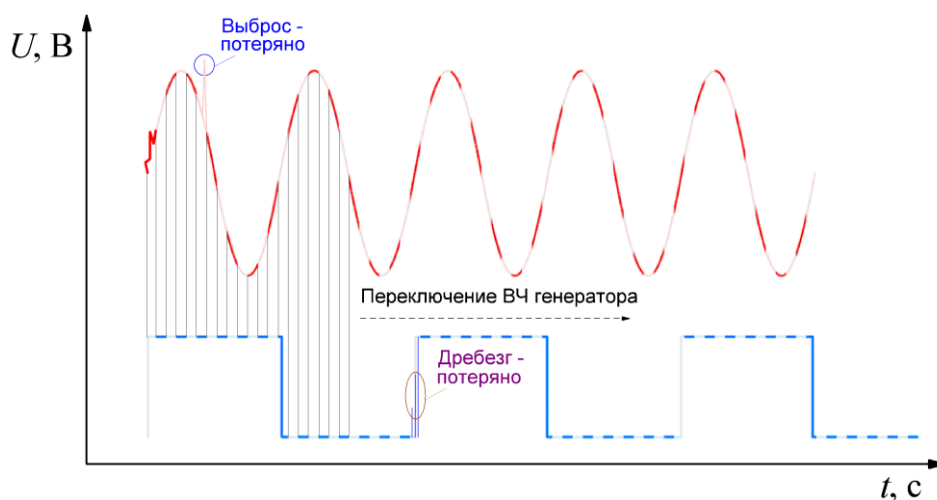


Рис. 1 – Иллюстрация сути второго метода коммутации сигналов.

Результаты анализа

Рассмотрим более детально второй из рассмотренных методов коммутации, позволяющий получить более реальную картину соотношения двух сигналов. В качестве объекта изучения используем электронный коммутатор ПЗ23.

Во всех коммутаторах к аналоговым осциллографам для их синхронизации с исследуемым сигналом нужно получить сигнал обратного хода луча из осциллографа. Однако USB-осциллограф работает иначе, и обработка сигнала производится уже в компьютере, поэтому стандартным способом получить синхронизирующий сигнал не представляется возможным.

Для устранения данной проблемы воспользуемся штатной опцией USB осциллографа “Внешняя синхронизация”.

Создание схемы внешней синхронизации

Внешнюю синхронизацию процесса коммутации целесообразно организовать по одному из исследуемых сигналов. Полагая, что на экране осциллографа графики, как правило, располагаются подчинённо сверху вниз, будем формировать сигнал синхронизации из исходного (ведущего) сигнала первого канала.

Стремление создать синхрои́мпульс в нулевой точке сигнала (в момент перехода графика снизу-вверх через 0) сталкивается с проблемой высокой входной чувствительности

формирующего устройства и максимальной скорости изменения его выходного сигнала. Этим требованиям в наибольшей степени отвечает компаратор, позволяющий весьма просто реализовать поставленную задачу.

Для создания внешней синхронизации была собрана схема, приведенная на рисунке 2.

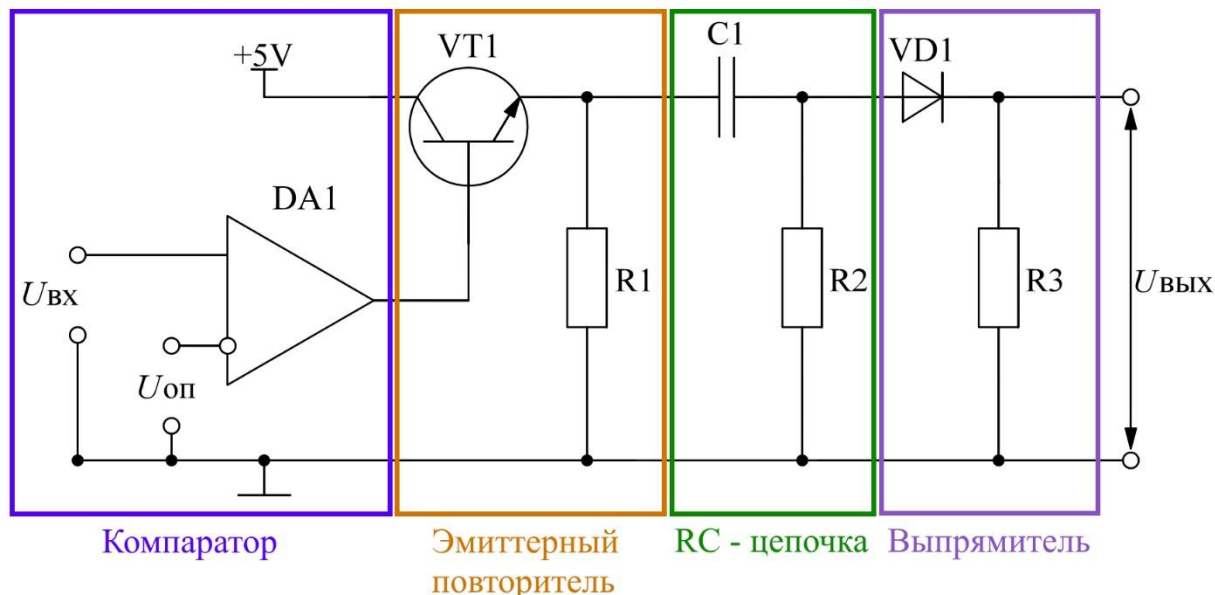


Рис. 2 – Схема внешней синхронизации.

Собранную схему можно разделить на 4 основных части:

1. Компаратор;
2. Эмиттерный повторитель;
3. Дифференцирующая RC – цепочка;
4. Выпрямитель.

Компаратор [2] выполняет роль формирователя прямоугольных импульсов $U_{вых.к}$, начало которых чётко совпадает с моментом, когда сигнал $U_{вх}$ превышает заданное нами значение $U_{оп}$.

Эмиттерный повторитель [2] на транзисторе $VT1$ повторяет этот прямоугольный сигнал без искажений и является буферным элементом между компаратором и нагрузкой.

Дифференцирующая RC-цепочка [2] на элементах $C1$ и $R2$ формирует из прямоугольных сигналов двухполярные остrokонечные импульсы $U_{вых RC}$.

Выпрямитель [2] на диоде $VD1$ позволяет получить на выходе однополярные остrokонечные импульсы синхронизации $U_{вых}$ положительной (в нашем случае) полярности.

Графически результаты работы каждого блока изображены на рисунке 3.

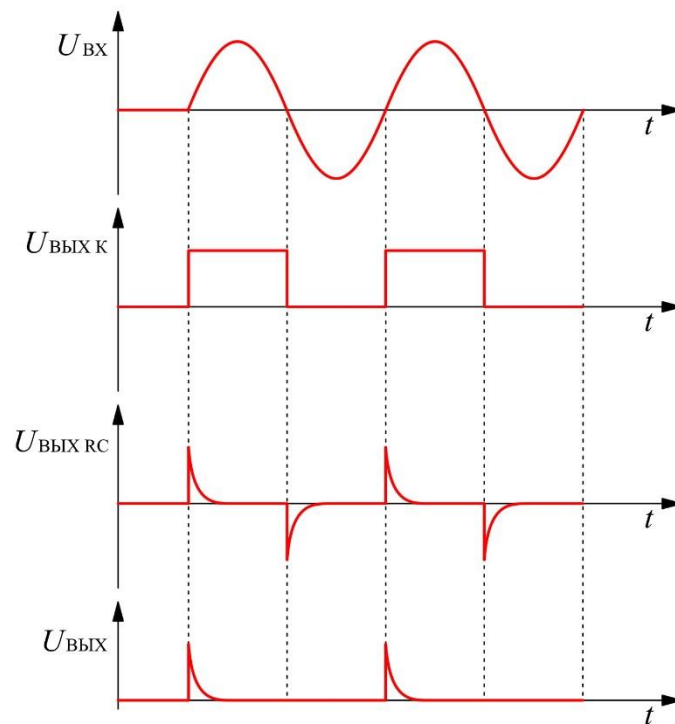


Рис. 3 – Графики процессов в схеме внешней синхронизации.

Осциллограмма работы формирователя синхроимпульсов приведена на рисунке 4.

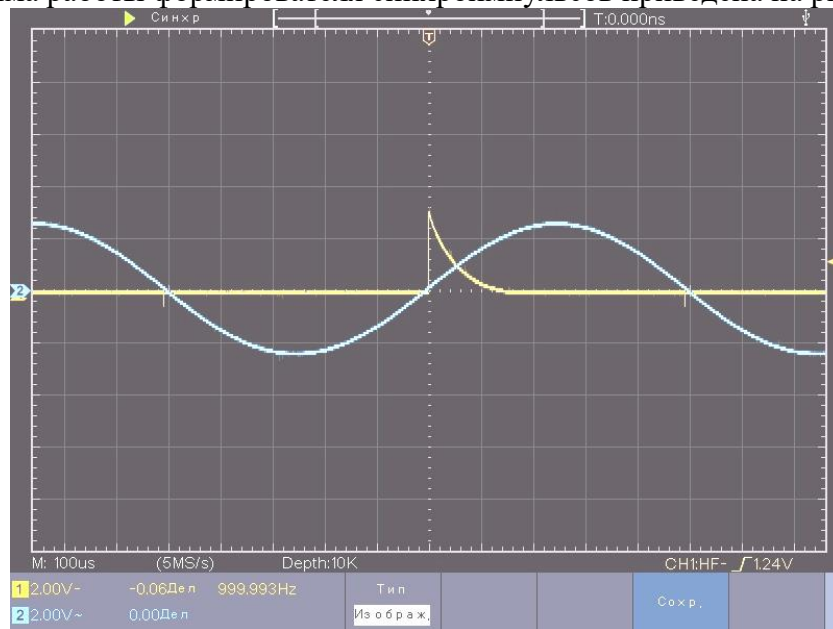


Рис. 4 – Работа схемы внешней синхронизации.

Синий сигнал – входной, а жёлтый – выход схемы внешней синхронизации. Инверсный вход компаратора заземлён (при этом $U_{оп} = 0$ В) для привязки импульса синхронизации к началу исследуемого процесса, а на прямой вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой 2,5 В и частотой 1 кГц. Как видно из графиков, на выходе устройства в момент начала положительного полупериода входного напряжения формируется остроконечный

сигнал синхронизации с крутым фронтом.

Анализ схемы внешней синхронизации

Схема внешней синхронизации осциллографа была собрана на макетной плате для дальнейшего анализа. Подробная монтажная схема с указанием используемых элементов приведена на рисунке 5.

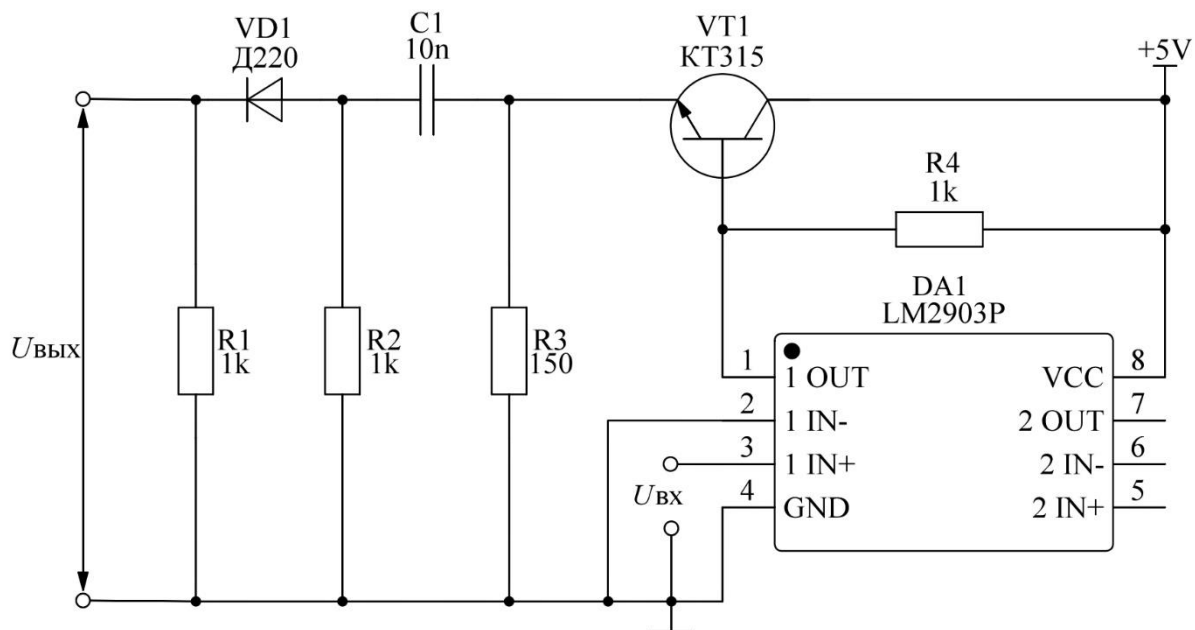


Рис. 5 – Схема внешней синхронизации, собранная для анализа

Проведён ряд опытов, заключающихся в выявлении зависимости амплитуды сигнала синхронизации на выходе от частоты входного сигнала, результаты приведены в таблице 1 и на рисунке 6.

Таблица 1 – Зависимость амплитуды синхроимпульсов от частоты входного сигнала.

f , кГц	U , В	f , кГц	U , В
0,005 – 1	3,16	10	1,42
1	3,06	12	1,34
2	2,68	14	1,28
4	2,06	16	1,24
6	1,74	18	1,16
8	1,56	20 – 60	1,14

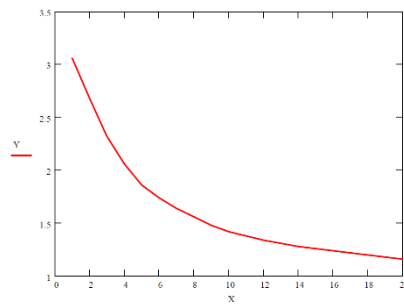


Рис. 6 – График зависимости амплитуды синхроимпульса от частоты исследуемого сигнала [3]

В результате обработки экспериментальных данных в программе аппроксимации Simple Formula получена эмпирическая формула зависимости $U_{\text{СИ}} = f(f_{\text{BX}})$:

$$U_{\text{СИ}} = 1 / \left(\frac{539.26 \cdot 10^{-3}}{\exp(f_{\text{BX}})} + 248.72 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(f_{\text{BX}}) + 128.32 \cdot 10^{-3} \right) \quad (1)$$

Введение формулы (1) в мобильное приложение MathStudio Express позволит отслеживать изменение амплитуды синхроимпульса в ходе экспериментов и не допустить нарушения синхронизации осциллографа с изменением частоты исследуемого сигнала.

Проведены опыты также для более высоких частот, амплитуда выходного сигнала не падает ниже 1,1 В, а после частоты 100 кГц начинает только расти. Так как синхронизация нашего USB-осциллографа срабатывает при напряжении 1,7 В, то данная схема может надёжно работать до частоты исследуемого сигнала в 6 кГц. Изменяя параметры R и C в дифференцирующей цепочке, а также диод в выпрямителе, можно добиться работы этой схемы во всем диапазоне частот USB осциллографа.

Результаты работы осциллографа

Используя коммутатор П323 и собранную схему внешней синхронизации, были получены результаты, изображенные на рисунках 7 и 8.

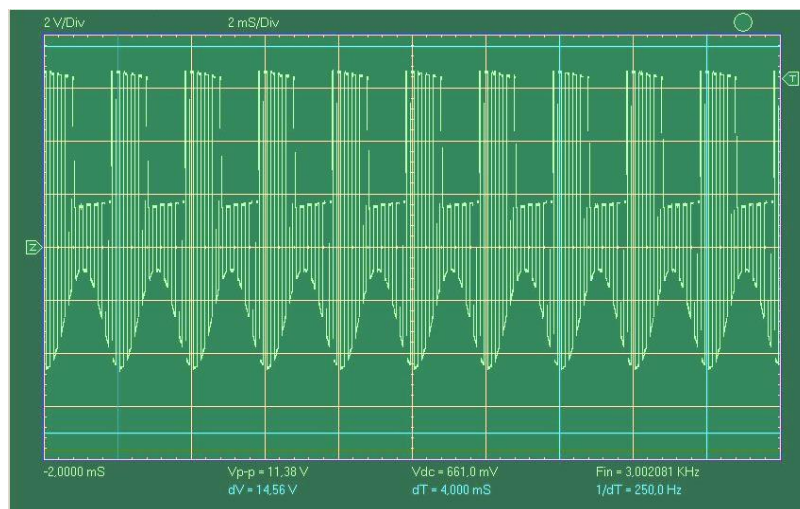


Рис. 7 – Результат при подаче меандра и синусоиды. Низкая частота коммутации - 10 кГц. Частота обоих сигналов 500 Гц.

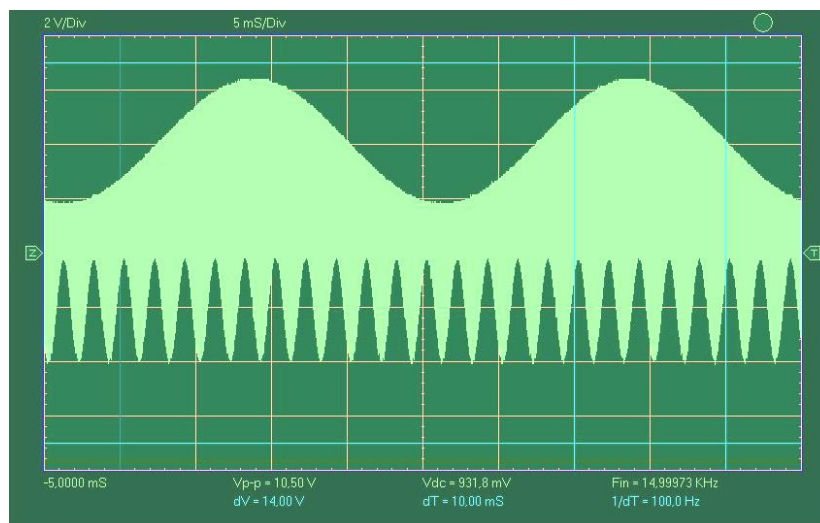


Рис. 8 – Результат при подаче двух синусоид. Высокая частота коммутации – 100 кГц. Частота верхней синусоиды 40 Гц, частота нижней синусоиды 500 Гц.

Выводы

Как видно из рис. 7 и 8, поставленная цель – получение изображений двух исследуемых сигналов на экране однолучевого USB осциллографа – успешно достигнута. Также установлено, что с повышением частоты переключений входных сигналов улучшается качество воспроизведения графической картины и, соответственно, точность измерений параметров сигналов. Это наблюдение даёт основание для разработки в дальнейшем адаптивной системы дискретизации графиков, отслеживающей изменение частот исследуемых сигналов в широких пределах.

Список использованных источников

1. Иванов Б.С. Осциллограф – ваш помощник – М.: Патриот, МП «Символ-Р», 1991.– 144 с., ил.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982.–512 с., ил.
3. Кириянов Д.В. Mathcad 12. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 576 с.: ил.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ MATLAB R2007B

С.А. Слива, Т.Е. Петула, Н.В. Шахова

САР применяются для регулирования отдельных параметров (температура, давление, уровень, расход и т.д.) в объекте управления. Принцип действия всякой САР заключается в том, чтобы обнаруживать отклонения регулируемых величин, характеризующих работу объекта или протекание процесса от требуемого режима и при этом воздействовать на объект или процесс так, чтобы устранять эти отклонения [1].

Введение

Устойчивость является важнейшей характеристикой систем автоматического регулирования, поскольку она определяет работоспособность системы. Неустойчивые системы, либо системы, обладающие недостаточным запасом устойчивости, не могут использоваться на практике [2].

Цели статьи

Целями данной работы является расчёт САР по алгебраическим и графоаналитическим критериям устойчивости, построение характеристик разомкнутой и замкнутой САР и переходного процесса, определение запасов устойчивости.

Уравнения движения элементов системы

Резервуар (Ре) $T_1 \frac{dp(t)}{dt} = k_1(G_2(t) - G_1(t));$

Клапан (К) $G_2 = k_2 h(t);$

Редуктор клапана (Р) $h(t) = k_3 \alpha(t);$

Исполнительный двигатель (ИД) $T_2 \frac{d\alpha(t)}{dt} + \alpha(t) = k_4 u_1(t);$

Электромашинный усилитель (ЭМУ)

$T_3 T_4 \frac{d^2 u_1(t)}{dt^2} + (T_3 + T_4) \frac{du_1(t)}{dt} + u_1(t) = k_5 u_2(t);$

Электронный усилитель (ЭУ) $u_2(t) = k_7 u_3(t);$

Потенциометр (П) $u_3(t) = k_7 x(t);$

Измерительное устройство (ИУ) $x(t) = k_8 p(t).$

Параметры элементов САР представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	T_1	T_2	T_3	T_4
0.17	2100	$2.9 \cdot 10^{-3}$	0.3	2100	1200	0.22	$5 \cdot 10^{-7}$	19	0.9	0.05	0.22

По уравнениям движения элементов системы и их параметрам строится структурная схема САР, см. рис. 1.

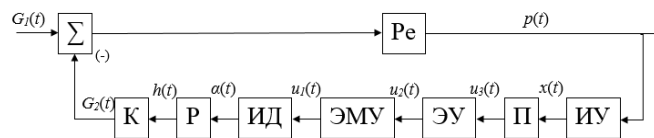


Рис. 1. Структурная схема САР

Структурная схема замкнутой системы по возмущающему воздействию с передаточными функциями и эквивалентная схема представлены на рис. 2.

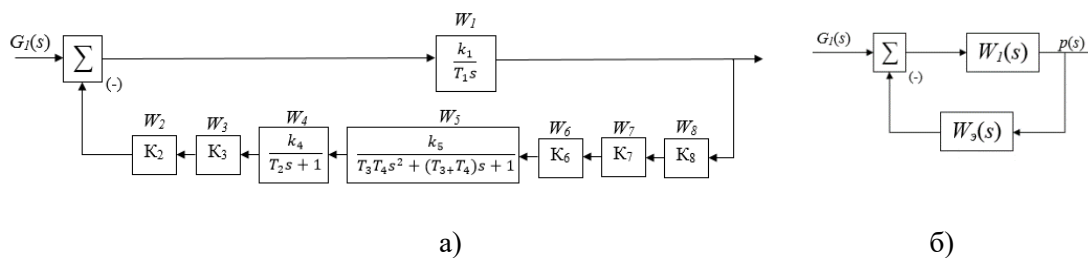


Рис. 2. Структурная схема замкнутой системы: а) по возмущающему воздействию
б) эквивалентная по возмущающему воздействию

Передаточная функция замкнутой САР по возмущающему воздействию будет равна

$$W_3(S) = \frac{W_1(S)}{1 + W_1(S)W_3(S)} = \frac{0.001683S^3 + 0.04318S^2 + 0.1989S + 0.17}{0.1881S^4 + 4.826S^3 + 22.23S^2 + 19S + 0.086} \quad (1)$$

Структурная схема с передаточными функциями разомкнутой САР представляет собой цепь последовательно соединённых звеньев \$W_1(S)\$ и \$W_3(S)\$, см. рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема разомкнутой САР

$$W_p(S) = W_1(S) \cdot W_3(S) = \frac{0.086}{0.1881S^4 + 4.826S^3 + 22.23S^2 + 19S} \quad (2)$$

Построение логарифмической амплитудной и фазовой частотных характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ) разомкнутой САР, определение устойчивости системы и запасов устойчивости

Для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ используем передаточную функцию разомкнутой системы, см. формулу (2). Листинг программы представлен на рис. 4 [4], ЛАЧХ и ЛФЧХ – рис. 5.

```

Скрипт программы:
w=tf([0.086],[0.1881 4.826 22.23 19 0])
Transfer function:
      0.086
-----
0.1881 s^4 + 4.826 s^3 + 22.23 s^2 + 19 s
ltiview

```

Рис. 4. Скрипт программы

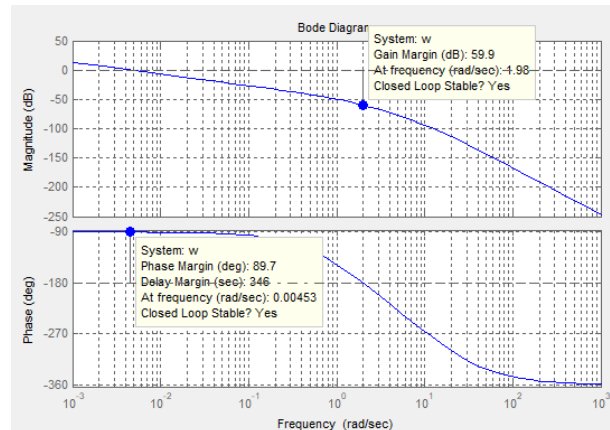


Рис. 5. ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САР

Для устойчивости минимально-фазовой системы необходимо и достаточно, чтобы частота ω_π была больше частоты ω_c . На рис. 5 частоте среза ЛАЧХ разомкнутой системы ω_{cp} соответствует фазовый угол $|\Delta\varphi| = 89,7^\circ$, поэтому замкнутая САР устойчива.

Определение устойчивости САР по корневому критерию и расчёт косвенных показателей качества системы

Характеристическое уравнение является полиномом $D(S)$, который равен знаменателю передаточной функции замкнутой САР $W_3(S)$, см. формулу (1). Листинг программы и результат выполнения представлены на рис. 6.

<pre> w=tf([0.001683 0.04318 0.1989 0.17], [0.1881 4.826 22.23 19 0.086]) pole(w) </pre>	<pre> Transfer function: 0.001683 s^3 + 0.04318 s^2 + 0.1989 s + 0.17 ----- 0.1881 s^4 + 4.826 s^3 + 22.23 s^2 + 19 s + 0.086 ans = -19.9999 -4.5473 -1.1047 -0.0046 </pre>
--	---

а)

б)

Рис. 6. а) скрипт программы б) результат выполнения программы

Для устойчивости САР необходимо и достаточно, чтобы все вещественные корни характеристического уравнения были отрицательными, см. рис. 7.

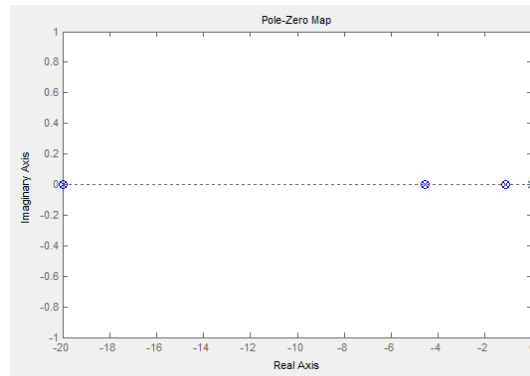


Рис. 7. Корни характеристического уравнения САР

Определение устойчивости САР по критерию Гурвица

Характеристическое уравнение – формула (1). Вычислим все четыре определителя Гурвица. Листинг программы и результат выполнения представлены на рис. 8.

$A1 = [4.826 \ 19 \ 0 \ 0; 0.1881 \ 22.23 \ 0.086 \ 0;$	$A1 = 4.8260 \ 19.0000 \ 0 \ 0$
$0 \ 4.826 \ 19 \ 0; 0 \ 0.1881 \ 22.23 \ 0.086]$	$0.1881 \ 22.2300 \ 0.0860 \ 0$
$\det(A1)$	$0 \ 4.8260 \ 19.0000 \ 0$
$A2 = A1(1:3, 1:3)$	$0 \ 0.1881 \ 22.2300 \ 0.0860$
$\det(A2)$	$ans = 169.2867$
$A3 = A1(1:2, 1:2)$	$A2 = 4.8260 \ 19.0000 \ 0$
$\det(A3)$	$0.1881 \ 22.2300 \ 0.0860$
$A4 = A1(1:1, 1:1)$	$0 \ 4.8260 \ 19.0000$
$\det(A4)$	$ans = 1.9685e+003$
	$A3 = 4.8260 \ 19.0000$
	$0.1881 \ 22.2300$
	$ans = 103.7081$
	$A4 = 4.8260$
	$ans = 4.8260$

а)

б)

Рис. 8. а) скрипт программы б) результат выполнения программы

Так как $a_0 = 0.1881 > 0$ и все четыре определителя Гурвица положительны, САР в соответствии с критерием Гурвица устойчива.

Определение устойчивости САР по критерию Рауса

Характеристическое уравнение – формула (1). Рассчитаем коэффициенты Рауса. Листинг программы и результат выполнения представлены на рис. 9 [5].

```

function r = routh(p)
p=[0.1881 4.826 22.23 19 0.086];
n=length(p);
m=round(n/2);
r=zeros(n,m);
r(1,:)=p(1:2:n);
r(2,1:fix(n/2))=p(2:2:n);
m=m-1;
for i=3:n
    den=r(i-1,1);
    if den==0
        den=realmin;
    end
    nom=r(i-2,1);
    if abs(nom)==Inf
        nom=realmax*sign(nom);
    end
    j=1:m;
    r(i,j)=r(i-2,j+1)-r(i-1,j+1)*nom/den;
    if r(i,:)==0&i<n-1
        ni=n+1-i;
        for j=1:m
            r(i,j)=r(i-1,j)*ni;
            ni=ni-2;
        end
    end
end
end
end

```

a)

```

ans =0.1881 22.2300 0.0860
      4.8260 19.0000      0
      21.4894 0.0860      0
      18.9807      0      0
      0.0860      0      0

```

б)

Рис. 9. а) скрипт программы б) результат выполнения программы

Так как $a_0=0.1881>0$ и все коэффициенты первого столбца положительны, САР в соответствии с критерием Рауса устойчива.

Построение амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) разомкнутой САР (Критерий Найквиста)

Передаточная функция разомкнутой системы – формула (2). Листинг программы и результат выполнения представлены на рис. 10 [6].

```

R = 1; %радиус
x0 = 0;
y0 = 0;
t = 0:0.001:2*pi;
x = x0 + R.*cos(t);
y = y0 + R.*sin(t);
plot(x,y,'r')
hold on
w=tf([0.086],[0.1881 4.826 22.23 19 0])
P=[0.1881 4.826 22.23 19 0]
roots(P)
nyquist(w)

```

a)

```

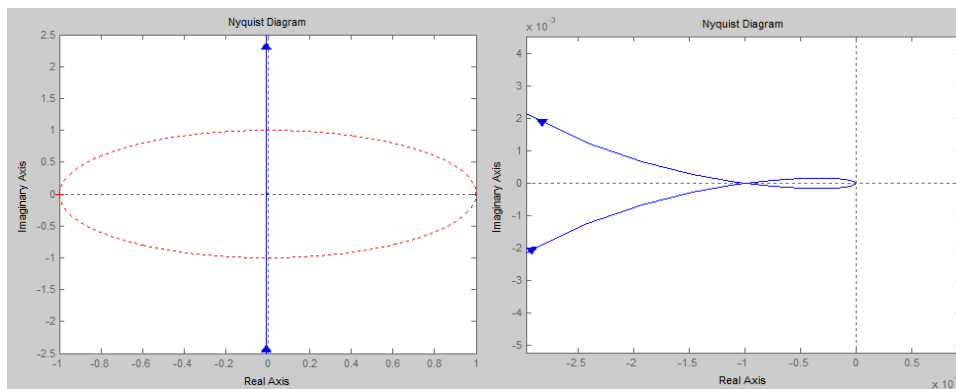
Transfer function:
          0.086
-----
0.1881 s^4 + 4.826 s^3 + 22.23 s^2 + 19 s
P =0.1881  4.8260  22.2300  19.0000      0
ans =0
     -20.0000
     -4.5455
     -1.1111

```

б)

Рис. 10. а) скрипт программы б) результат выполнения программы

По результатам программы получен график АФХ разомкнутой системы, см. рис. 11.



а)

б)

Рис. 11. График АФХ разомкнутой САР: а) с единичной окружностью, б) при масштабировании

Согласно условию устойчивости по критерию Найквиста для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы график АФЧХ разомкнутой системы не охватывал точку с координатами $(-1; j0)$.

Построение кривой Михайлова и определение устойчивости САР по критерию Михайлова

Характеристический полином САР – формула (1).

Функция Михайлова имеет вид:

$$M(j\omega) = 0.1881(j\omega)^4 + 4.826(j\omega)^3 + 22.23(j\omega)^2 + 19Sj\omega + 0.086 \quad (15)$$

Вещественная и мнимая части функции Михайлова:

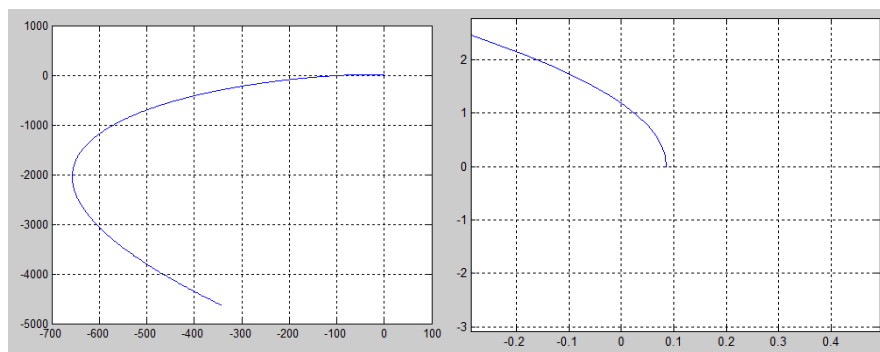
$$P(\omega) = 0.1881\omega^4 - 22.23\omega^2 + 0.086, Q(\omega) = -4.826\omega^3 + 19\omega \quad (16)$$

Листинг программы представлен на рис. 12 [7].

```
w=0:0.01:10
p=0.1881*w.^4-22.23*w.^2+0.086
q=-4.826*w.^3+19*w
plot(p,q)
grid
```

Рис. 12. Скрипт программы

Кривая Михайлова последовательно и монотонно проходит против часовой стрелки четыре квадранта комплексной плоскости, см. рис. 13.



а)

б)

Рис. 13. а) кривая Михайлова замкнутой системы, б) кривая Михайлова при масштабировании
На основании критерия Михайлова САР устойчива.

Построение переходной характеристики САР

Передаточная функция замкнутой САР – формула (1). Построим переходную характеристику $h(t)$ замкнутой САР. Листинг программы и результат выполнения представлены на рис. 14 [8].

```
w=tf([0.001683 0.04318 0.1989 0.17],
[0.1881 4.826 22.23 19 0.086])
pole(w)
step(w,8000)
grid
```

Transfer function:

$$0.001683 s^3 + 0.04318 s^2 + 0.1989 s + 0.17$$

$$0.1881 s^4 + 4.826 s^3 + 22.23 s^2 + 19 s + 0.086$$

ans = -19.9999

-4.5473

-1.1047

-0.0046

а)

б)

Рис. 14. а) скрипт программы б) результат выполнения программы

Так как корни характеристического уравнения вещественные $S_i = \alpha_i$, то характер переходного процесса аperiodический, см. рис. 15. Время регулирования $t_p = 2.02 \cdot 10^3$ с.

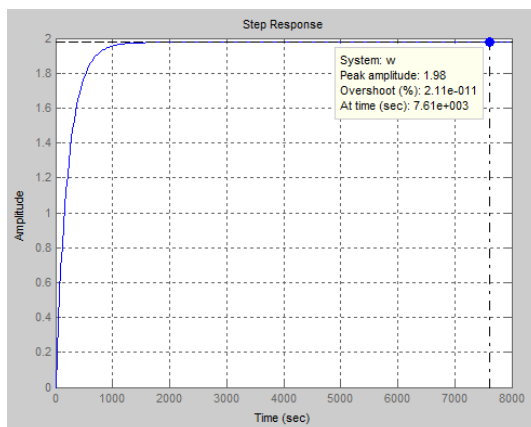


Рис. 15. График точной переходной характеристики САР

Выводы

Исследуемая САР устойчива и является работоспособной.

Алгебраические критерии позволяют проверить устойчивость системы при помощи алгебраических операций над коэффициентами характеристического уравнения.

Графоаналитические критерии позволяют определить характер процесса регулирования и осуществлять синтез системы.

Время регулирования $t_p = 2.02 \cdot 10^3$ с отражает быстродействие системы.

Список использованных источников

1. http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/13____.html
2. Дикусар Ю.Г. Основы теории линейных аналоговых систем автоматического регулирования: учеб. пособие. – Севастополь: СевГУ, 2015. – 248 с.: ил.
3. Дикусар Ю.Г. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие.- Севастополь: СТУЭИП, 2009. – 192 с.: ил.
4. Бураков М. В., Полякова Т. Г., Подзорова А. В. Рецензент Гусев С. А. Теория автоматического управления. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1–9 – СПб: ГУАП, 2006. – 72 с.: ил.
5. Бороденко В.А. Оценка устойчивости линейной системы по критерию Рауса в среде MATLAB 5.X <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ustoychivosti-lineynoy-sistemy-po-kriteriyu-rausa-v-srede-matlab-5-h>
6. https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F157542%2Fmod_resource%2Fcontent%2F2%2F%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F-11%20%D0%A1%D0%90%D0%A0%D0%A3.pdf
7. <http://www.techshape.ru/sheoms-234-1.html>
8. Яковлева Е.М., Замятин С.В. Теория автоматического управления. Курсовая работа: метод. указания для студентов спец. 220102 «Управление и информатика в технических системах» ИДО – Томск: Изд. ТПУ, 2009 - 115 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЕРОВ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Д.С.Ильчук, Т.Г.Зацаринная, Н.В. Шахова

Уже на протяжении 50 лет на автоматизированном производстве используются программируемые логические контроллеры. Повышенная производительность, простота применения, упрощённое техобслуживание и высокая надёжность стали решающим фактором применимости их для многих задач. В данной статье показан один из примеров применения ПЛК для управления электродвигателем.

Введение

Современный ПЛК стал чрезвычайно востребованным универсальным рабочим инструментом в системах автоматизации производственных процессов, а также для управления отдельными устройствами различного назначения.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) широко применяются в сфере промышленной автоматизации разнообразных технологических процессов на больших и малых предприятиях. Их применение значительно упрощает создание и эксплуатацию как сложных автоматизированных систем, так и отдельных устройств, в том числе — бытового назначения. ПЛК позволяет сократить этап разработки, упрощает процесс монтажа и отладки за счет стандартизации отдельных аппаратных и программных компонентов, а также обеспечивает повышенную надежность в процессе эксплуатации, удобный ремонт и модернизацию при необходимости.

Принято считать, что задача создания прообраза современного ПЛК возникла в конце 60-х годов прошлого столетия. В частности, в 1968 году она была сформулирована руководящими специалистами General Motors. Тогда эта компания пыталась найти замену для сложной релейной системы управления.

Последующие разработки в General Motors, Allen-Bradley и других компаниях привели к созданию системы управления на базе микроконтроллеров, которая анализировала входные сигналы от технологических датчиков и управляла электроприводами исполнительных устройств. [1]

Программируемый логический контроллер ПЛК – это управляемый микропроцессором компьютер, специально разработанная для использования в производственных условиях. ПЛК контролирует состояние устройств ввода в режиме реального времени и принимает решения на основе пользовательской программы для управления состоянием выходных устройств.

Все ПЛК включают три уровня: уровень ввода, уровень обработки и уровень вывода (Рис.1).

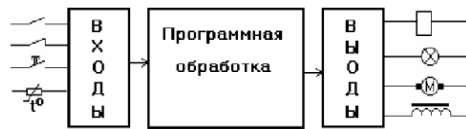


Рис. 1. Схема ПЛК

- Уровень ввода включает встроенные входные контактные клеммы или входные клеммы расширения, к которым подключаются входные устройства, например, конечные переключатели, транзисторные датчики и т.д. Когда входное напряжение достигает заданного уровня, вход активизируется.

- Центральный процессор является главным компонентом ПЛК, который выполняет и управляет всеми процессами в системе.

- Уровень вывода включает встроенные выходные контактные клеммы и выходные клеммы расширений, которые управляются ЦП. Анализируя условия на входах, ЦП включает соответствующие выходы, активизируя такие устройства машины, как лампы, сирены, реле, соленоиды или двигатели. [2]

Поскольку в определении «программируемый логический контроллер» главным являлось «программируемый», то практически сразу возник вопрос, как программировать ПЛК?

Каждый изготовитель ПЛК разрабатывал собственный язык программирования, поэтому ПЛК разных производителей были программно несовместимы, кроме того существовала проблема аппаратной несовместимости. Замена ПЛК на продукт другого изготовителя превратилась в огромную проблему. Покупатель ПЛК был вынужден использовать изделия только одной фирмы либо тратить силы на изучение разных языков и средства на приобретение соответствующих инструментов.

Язык LD был изобретен в США в период релейной автоматизации. В Европу мода на ПЛК пришла несколько позднее, когда релейные шкафы были уже успешно заменены на шкафы с логическими микросхемами. Поэтому возникла необходимость изобретения других языков программирования. Так в Германии появились языки простых текстовых инструкций (IL). Во Франции возникли графические языки функциональных блок-диаграмм (FBD) и высокоуровневые диаграммы описания этапов и условий переходов (SFC). Применялись также языки, используемые для программирования компьютеров (Pascal, Basic).

В 1982 году рамках Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) был опубликован первый черновой вариант стандарта, который получил наименование МЭК 1131. С 1997 года и до настоящего времени правильное наименование международной версии части стандарта посвященной языкам программирования ПЛК – МЭК 61131-3. Из всего многообразия существовавших на момент разработки стандарта языков программирования ПЛК были выделены 5 языков, получивших наибольшее распространение:

- Список Инструкций (IL),
- Функциональные блок-диаграммы (FBD),
- Релейно-контактные схемы (LD),
- Структурированный текст (ST),
- Последовательные функциональные схемы (SFC)

Спецификации языков были доработаны, так что стало возможным использовать в программах, написанных на любом из этих языков стандартизованный набор элементов и типов данных. [3]

Цель данной статьи состоит в том, чтобы на примере натурной модели автоматизированной системы управления исполнительного электродвигателя, продемонстрировать возможности контроллера FX3G и панели оператора GOT1000.

Краткая характеристика натурной модели

Для наглядного примера использования ПЛК, рассмотрим автоматическую систему управления исполнительным электродвигателем. Выбранная натурная модель выполнена по блочному (модульному) принципу и включает в себя:

- блок контроллера и панели оператора;
- ноутбук;
- блок световой сигнализации;
- пост управления, который предназначен для коммутации электрических цепей и регулирования сигналов управления;
- исполнительный электродвигатель - применяется по прямому назначению. В качестве рабочего элемента в двигателе использован исполнительный электродвигатель электропривода BELIMO LM24AP5;
- однофазный источник питания. Предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты;
- программа GX DEVELOPER;
- программа GT Designer 3

САУ электродвигателя собрана по схеме, представленной на рисунке 2.

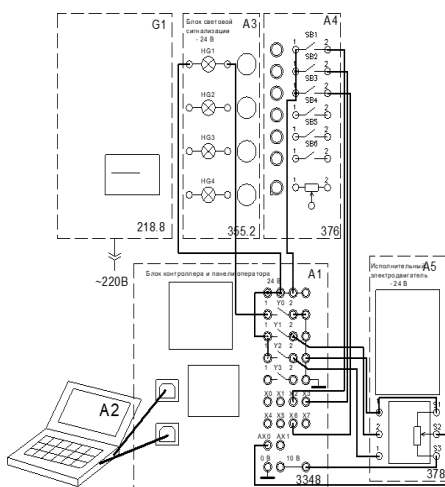


Рис. 2. Электрическая схема соединений

Для реализации входных сигналов используются кнопки без фиксации

- SB1 – задает вращение двигателя против часовой стрелки;
- SB2 – задает вращение двигателя по часовой стрелке;
- SB3 – останавливает электродвигатель.

На потенциометрический датчик, установленный на валу двигателя A5, подается напряжение питания от блока A1 (0 В и +10 В). Выходной сигнал потенциометрического датчика поступает на аналоговый вход AI0 Платы АЦП контроллера. Контроль выходных сигналов осуществляет панель оператора (Рис.3) и красная лампа в блоке A3, сигнализирующая о нахождении указателя положения вала двигателя между делениями шкалы от 75 до 100.

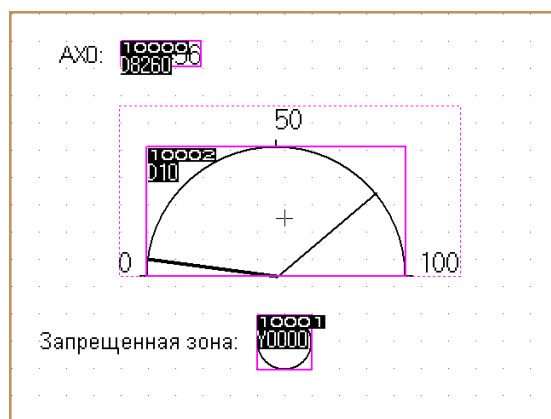


Рис. 3. Панель оператора

Поле “AX0” показывает реальное значение АЦП, снимаемое с вывода AX0. На индикаторе 10002 отражается положение исполнительного электродвигателя. Лампа “Запрещенная зона” загорается при входе электродвигателя в зону 75...100.

Аппаратная часть стенда реализуется с помощью контроллера FX3G-14 MR и панели оператора GT1050 фирмы Mitsubishi. Контроллер Mitsubishi FX3G работает по предварительно заданной программе, которая заносится в ПЛК и хранится в памяти программ. Программа состоит из последовательности отдельных управляющих инструкций, которые определяют функции управления (Рис4). ПЛК обрабатывает инструкции управления в соответствии с запрограммированной последовательностью одну за другой последовательно. Общий проход программы непрерывно повторяется через определенный промежуток времени, называемый циклом программы, таким образом, в ПЛК осуществляется циклический проход программы.

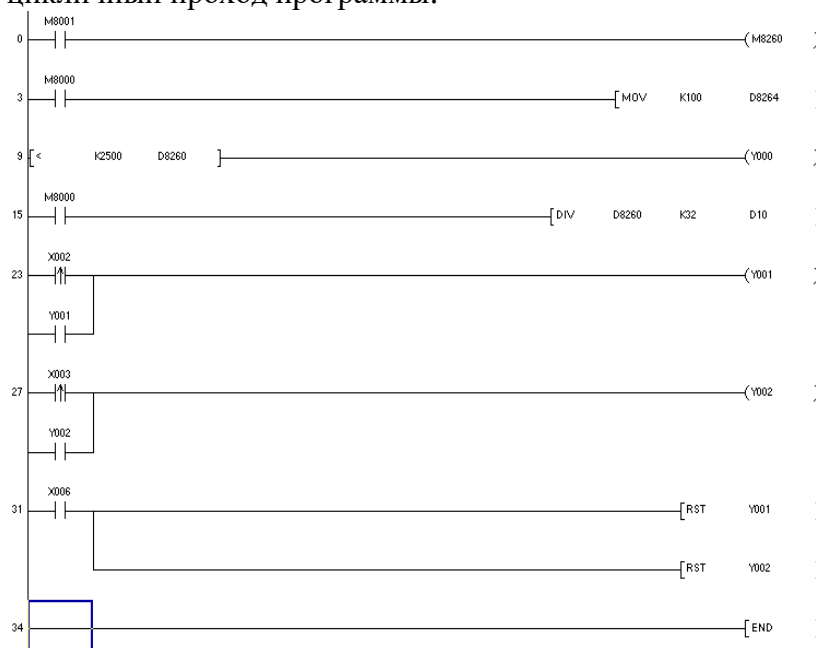


Рис. 4. Лестничная диаграмма реализующая алгоритм автоматической системы управления исполнительным электродвигателем

Листинг программы работает по алгоритму:

- В строке 0 программы выбирается канал по напряжению для АЦП со входом AX0.
- В строке 3 программы выбирается число точек усреднения показаний АЦП для уменьшения влияния помех.

- В строке 9 программы вводится значение АЦП из ячейки аппаратной D8260 и сравнивается со значением 2500 (предельный пороговый уровень) примерно соответствующий значению 75 по шкале, расположенной на стекле блока исполнительный электродвигатель. Если значение АЦП больше указанной величины, то включается реле Y0, которое своими контактами включает предупреждающую лампу HG1. Одновременно значение с выхода АЦП выводится в поле “АХ0” панели оператора. Состояние лампы HG1 дублируется в поле “Запрещенная зона”.
- В строке 15 показания АЦП делятся на 32 и заносятся в ячейку D10. Это необходимо для согласования масштабов шкалы двигателя и выходных значений АЦП. Значение ячейки D10 используется для вывода данных на стрелочный прибор 10002 панели оператора.
- В строке 23 программы при нажатии кнопки SB1 (Вперед) формируется короткий импульс, который включает выход Y1 и сигнал встает на самоблокировку. Двигатель начинает вращение по часовой стрелке.
- В строке 27 программы при нажатии кнопки SB2 (Назад) формируется короткий импульс, который включает выход Y2 и сигнал встает на самоблокировку. Двигатель начинает вращение против часовой стрелки.
- В строке 31 программы при нажатии кнопки SB3 (Стоп) выходы Y1, Y2 сбрасываются и двигатель останавливается. [4]

Выводы

Таким образом, пример автоматизированной системы управления электродвигателя, рассмотренный в данной статье, демонстрирует возможности ПЛК и панели оператора.

С момента создания, ПЛК непрерывно развиваются в сторону усложнения. Главным и наиболее перспективным направлением совершенствования АСУ ТП на базе ПЛК считается применение искусственного интеллекта.

Это поможет снизить риск повреждения оборудования и сократить незапланированные простои, своевременно выявляя проблемы и предлагая немедленные действия для их устранения, без непосредственного программирования. Поскольку существует множество различных факторов и измерений, указывающих на проблему при комплексном наблюдении, автоматизация процесса извлечения признаков позволяет сэкономить значительное количество времени и ресурсов. [5]

Список использованных источников

1. URL: <https://www.compel.ru/lib/95591> (дата обращения: 18.04.2021).
2. Серия ПЛК FX MELSEC. Программируемые контроллеры. Руководство по обучению, Mitsubishi Electric Corporation 2007.
3. Брокарев А.Ж., Петров И.В. Компания "ПРОЛОГ». Языки программирования ПЛК и программная платформа автоматизации CoDeSys.
4. Зацаринная Т.Г., Нурзай. В.А. Автоматизация технологических процессов и производств на основе приборов Mitsubishi: учеб. пособие по проведению лабораторных работ. – Ч.1 / – Севастополь: СевГУ, 2016. – 112 с.
5. URL: <http://ua.automation.com/content/omron-sysmac> (дата обращения: 18.04.2021)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ЛИНИИ СВЯЗИ

В.А.Кирченков, Е.Г. Малюк

На сегодняшний день для экономии средств, при прокладке волоконно-оптических кабелей широко используются опоры высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП), а также опоры контактной сети электрических железных дорог. Это относительно недорогой способ организации высокоскоростной линии передачи данных на базе существующей инфраструктуры. В России наиболее протяженная ВОЛС, проложенная вдоль железных дорог, принадлежит компании ТрансТелеКом (ТТК), входящей в пятерку ведущих российских операторов связи. ОАО "РЖД" владеет 99,99% акций данной компании. Протяженность волоконно-оптической линии связи компании ТТК составляет более 76 000 км. В свою очередь лидером подвеса ВОК по опорам ЛЭП является "Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы" (ПАО «ФСК ЕЭС»), которая имеет волоконно-оптическую линию связи, протяженностью более 57 700 км.

Введение

Объект исследования: электромагнитное излучение, электромагнитное поле (ЭМП) высоковольтных воздушных линий электропередач (ЛЭП).

Предмет исследования: влияние на линии связи (ЛС)

Цель работы

Целью данной работы является анализ Рассмотреть воздействия ЛЭП на ЛС;

2. Определить факторы воздействия высоковольтных ЛЭП на линии связи;

На работу линий связи могут оказывать неблагоприятные воздействия целый ряд посторонних источников: ЛЭП, контактные сети электрифицированных железных дорог (КСЭЖД), атмосферное электричество (удары молнии), передающие электростанции. Указанные внешние источники могут создавать в цепях линий связи опасные и мешающие влияния.

Влияние высоковольтных линий электропередач на провод ВОЛС

Одним из наиболее оптимальных способов построения ВОЛС является использование кабеля ОКГТ (кабель, встроенный в грозозащитный трос). Однако большинство ЛЭП 110 кВ и выше уже имеют грозозащитные тросы, а замена существующих тросов на ОКГТ значительно увеличивает стоимость строительства оптических линий связи. Кроме того, на некоторых линиях электропередач применение грозозащитных тросов вообще не требуется. Альтернативным способом построения ВОЛС на базе существующих линий электропередач и железных дорог является использование полностью диэлектрических самонесущих кабелей (ADSS кабели). Стоит отметить, что строительство ВОЛС с помощью ADSS значительно дешевле, в сравнении с кабелями ОКГТ. Однако для такого рода ВОЛС имеются свои дополнительные

проблемы – электротермическое разрушение оптического кабеля. В результате воздействия сильного электромагнитного поля на ВОК возникают деградиационные процессы, приводящие в первую очередь к разрушению внешней оболочки кабеля.



Рис. 1 Разрушение оболочки вследствие коронных разрядов

Длительность срока эксплуатации ADSS кабелей на силовых линиях будет зависеть от следующих факторов: коронных разрядов, сухо-полосных разрядов, длины пролета, стрелы провеса, растягивающей нагрузки кабеля, скорости ветра, стойкости оболочки к ультрафиолетовому излучению, от температуры, от уровня загрязнения оболочки и др.

В первую очередь интересны результаты исследований воздействия сильного электромагнитного поля на оптический кабель. Здесь можно рассмотреть две цели: 1) изучить общую теорию электро-термического разрушения оптического кабеля; 2) привести анализ результатов исследования воздействия на диэлектрические самонесущие кабели сильного электромагнитного поля в комбинации с ультрафиолетовым излучением, солевого тумана, дождя и механических напряжений.

Происхождение поверхностных токов и разрядов

Как показала практика, постоянное воздействие сильного электромагнитного поля на самонесущий оптоволоконный кабель представляет собой некий вызов для используемых в кабеле материалов. Емкостная связь между силовыми проводами, кабелем ADSS и землей приводит к образованию разности потенциалов вдоль всей длины кабеля. На расстоянии десятков метров длины кабеля разность потенциалов может достигать десятков киловольт.

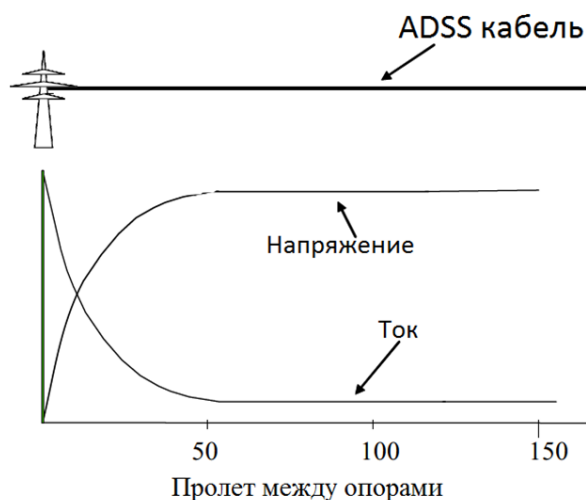


Рис. 2

В процессе длительного воздействия внешних переменных электромагнитных полей

высокой напряженности происходит накопление зарядов, как на оболочке ВОК, так и на его внутренних элементах. При стекании таких зарядов к элементам с нулевым потенциалом (например, поддерживающим зажимам оптического кабеля (рис. 3), закрепленным к

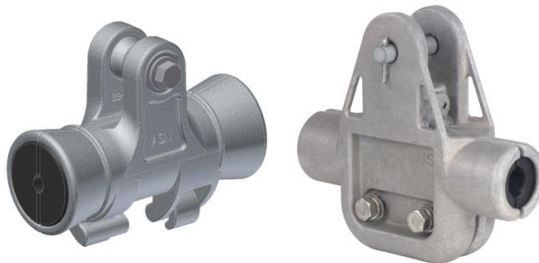


Рис.3 Поддерживающие зажимы ADSS кабеля

заземленным опорам) на внешней оболочке кабеля образуются поверхностные разряды. Если поверхность кабеля становится проводящей, то по всей длине кабеля начинается протекание токов. Результатом этих электрофизических процессов являются локальные термические разрушения поверхностного слоя на всей длине ВОК, но в значительной степени в местах крепления кабеля подвесными зажимами, где проявляются большие переходные сопротивления при стекании тока на землю (рис. 4). В процессе исследований было установлено, что основной причиной обрыва кабеля на ЛЭП и контактных сетях ж/д являются именно коронные разряды, возникающие на промежутке кабеля и заземленного натяжного подвеса.

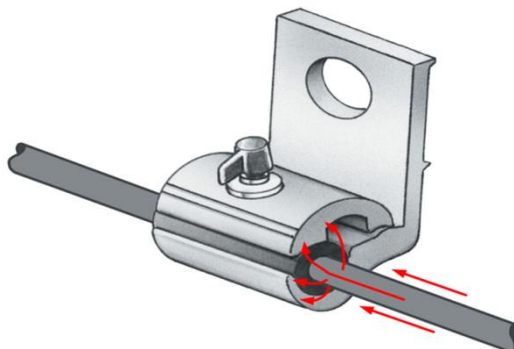


Рис. 4

Кроме того, разрушение кабеля происходит вследствие так называемого трекинг-эффекта. Дождевая вода, стекающая по поверхности кабеля, часто содержит растворённую грязь, различные токопроводящие частицы и т.д. которые оставляют следы на поверхности и образуют своеобразные грязевые токопроводящие дорожки, повторяя траектории стекающих капель. Такие дорожки называются треками. По мере накопления грязи на оболочке значение токов утечки начинает возрастать, что приводит к эффекту трекинга.

Также на поверхности кабеля может образоваться роса после прохладной ночи, которая увлажняет слой загрязнения на оболочке, превращая его в проводящий. При высыхании на поверхности кабеля может образоваться локальный сухой участок – сухая полоса. Эта сухая полоса имеет чрезвычайно высокое поверхностное сопротивление по сравнению с влажным слоем на остальных участках кабеля. В сухо-полосной области кабель будет обладать более высоким линейным импедансом, чем в других частях кабельной поверхности. Локальный высокий импеданс приводит к большому падению напряжения через короткий участок сухого кабеля. В результате возникает сухо-полосный разряд (рис. 5).

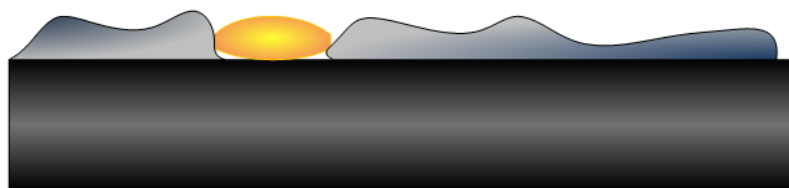


Рис. 5 Сухо-полосной разряд.

Разряд, обладая высокой температурой, приводит к быстрому старению кабельной оболочки и как результат к ее разрушению. Если быть точнее, разряды, нагревая оболочку, способствуют возникновению в ней трещин, развивающихся в дальнейшем многочисленными циклами замораживания-размораживания, и таким образом приводят к разрушению конструкции кабеля.

На рис. 6 показан ход образования и развития трекинговых дорожек на поверхности кабелей при одновременном увеличении загрязнения и напряжения, приложенного к образцам.

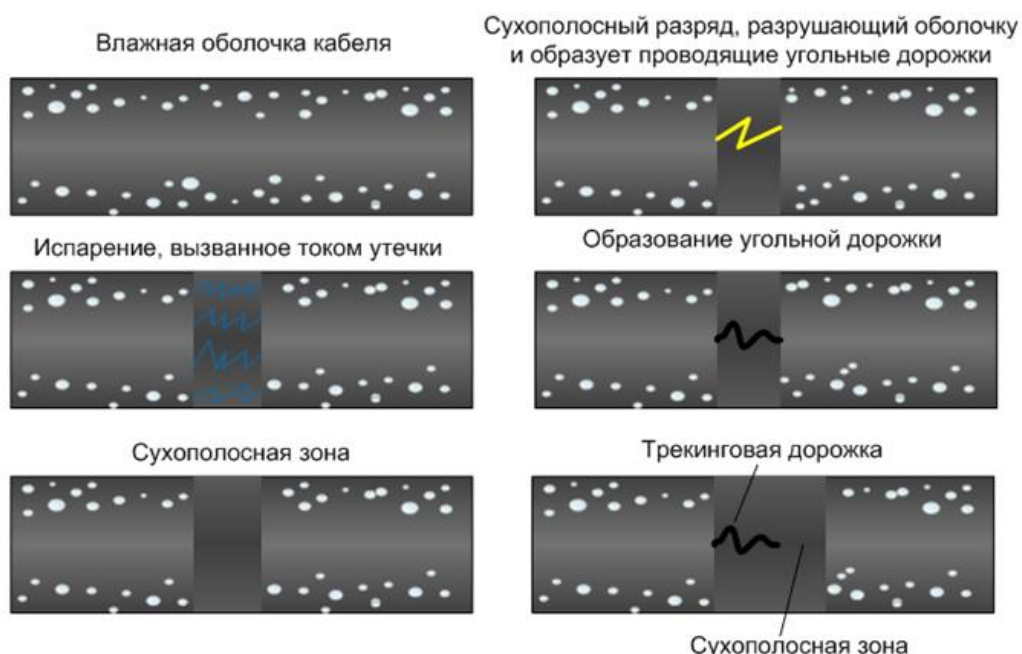


Рис. 6 К объяснению эффекта трекинга

Реальная картина разрушения оболочки вследствие эффекта трекинга показана на рис.

7.



Рис. 7

На рис. 8 мы видим два типа деградации оболочки: рис. 8а, – образование продольного "желоба", который далее будет расширяться вдоль кабеля; рис. 8б – образование поперечных, кольцевых дефектов. Такого рода дефекты связаны с протеканием токов в несколько миллиампер.



а)



б)

Рис. 8 – Повреждения полиэтиленовой оболочки ADSS кабеля на линии 110 кВ

После приведенных разъяснений становится очевидно, что поверхностное сопротивление внешней полиэтиленовой оболочки ВОК имеет большое практическое значение при эксплуатации волоконно-оптической линии связи вблизи силовых линий. Сопротивление оболочки ВОК зависит от свойств самого диэлектрика, состояния его поверхности, а также в значительной степени от агрессивных внешних загрязняющих мелкодисперсных осадений, способствующих резкому снижению поверхностного сопротивления. Коронные разряды приобретают все более активный характер по мере уменьшения поверхностного сопротивления кабеля и степени его загрязненности. Если поверхность кабеля будет чистой

и сухой, протекающие токи будут иметь очень малое значение (~ микроамперы). Однако если оболочка кабеля в процессе эксплуатации становится гидрофильной и загрязненной, сопротивление может уменьшиться до нескольких сотен кОм/м, и токи могут достигать значений в несколько миллиампер. Недавние исследования установили, что полиэтиленовая оболочка является пригодной для использования при величине поверхностных токов менее 0,5 миллиампер. Такого рода ток является типичным, например, вблизи 150 кВ линии при нормальных условиях ее работы. Практики часто утверждают, что полиэтиленовая оболочка приемлема только на линиях с напряжением до 10 кВ. На более высоковольтных сетях должны использоваться специальные оболочки с высокой трекинг-эрозийной стойкостью. Здесь на самом деле многое будет зависеть от степени загрязненности и влажности оболочки, приводящих к более высокому току, нежели ожидалось.

Степень разрушения оболочки вследствие трекинг-эффекта зависит также от длины пролета. Образование сухо-полосных разрядов увеличивается с увеличением длины пролета. Таким образом, на ЛЭП более вероятно, что в первую очередь произойдет разрушение оболочки кабеля на самом длинном пролете.

Выводы

Электромагнитные поля индуцируют в цепях и трактах линий связи помехи, которые не только снижают качество передачи, но иногда возбуждают большие напряжения и токи, приводящие к разрушению линий связи и аппаратуры, а также создающие опасность для жизни и здоровья эксплуатационного персонала. Поэтому для оценки свойств линий связи помимо изучения законов передачи сигналов необходимо также исследование процессов, связанных с воздействием сторонних электромагнитных полей на линии связи и методы защиты. Указанные воздействия называют электромагнитными влияниями или просто влияниями на цепи линий связи.

Список использованных источников

1. Аношин О.А. Разработка защитных мероприятий для цепи управления связи от электромагнитных воздействий. //Диссертация МЭИ 1992.
2. Баланчевадзе В., Ишкин В., Стегний В. Телекоммуникационные сети электроэнергетики России [Текст]// Connect! Мир связи. – 1998. – № 10. – С.64-68.
3. Правила устройства электроустановок 7-ое издание ОАО «ВНИИЭ».[Текст] // Утверждено приказом Министерства энергетики России от 08.07.02 № 204. Введено в действие с 1 января 2003 года с изменениями от 20 мая 2003 года № 187.
4. Ю.И. Филиппов, Э.Е. Асс, Л.Е. Попов, А.С. Бочев, Г.Е. Соловьев, В.А. Осипов, А.С. Гайворонский, В.В. Кречетов, М.Р. Прокопович Электротермическая деградация оптического кабеля. [Текст]//Lightwave Russian Edition, 2006, № 4, с. 20.

СРАВНЕНИЕ КРИОГЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ С КЛАССИЧЕСКИМИ АНАЛОГАМИ

И.А. Кочетов

На сегодняшний день главная цель энергетики заключается в том, что мы должны производить немного больше электроэнергии, чем мы потребляем в данный момент времени. В связи с этим мы обязаны использовать огромное количество маневренных тепловых станций, у которых долгосрочная стоимость эксплуатации больше чем у АЭС. При этом альтернативная энергетика является не конкурентной без дешевых накопителей энергии. Поэтому применение крупномасштабных технологий хранения энергии, где в последнее время большое внимание привлекает накопитель энергии на жидком воздухе (LAES), которое может преодолеть недостатки существующих накопителей энергии, таких как: суперконденсаторы, заряжаемые аккумуляторные батареи, гидроаккумуляторы и аккумуляторы на сжатом воздухе.

Введение

Концентрация углекислого газа в атмосфере превысила опасный порог в 400 частей на миллион. Декарбонизация энергетического сектора является неотложной задачей. Возобновляемая энергия – хороший вариант, и многие возобновляемые источники энергии установки были установлены. Доля возобновляемых источников энергии в мировом потреблении энергии составляла 19% в 2015 году, и к 2050 году можно достичь 100%-го будущего использования возобновляемых источников энергии [1]. Однако возобновляемые источники энергии являются непостоянными, и для обеспечения баланса спроса и предложения на энергию требуется накопление электроэнергии.

Цель работы

Целью данной работы является сравнительный анализ криогенных накопителей с суперконденсаторами, заряжаемыми аккумуляторными батареями, гидроаккумуляторами и аккумуляторами на сжатом воздухе.

Крупномасштабные технологии хранения энергии

Сегодня существует широкий выбор способов хранения энергии для стационарных систем электроснабжения. В их числе – суперконденсаторы, сжатый воздух, гидроаккумулирующие станции и заряжаемые аккумуляторные батареи. Каждая технология имеет свои достоинства и недостатки, которые определяют области их применения. Традиционная установка накопитель энергии на сжатом воздухе страдает двумя основными недостатками: ограниченной эффективностью в оба конца в диапазоне 40-50% и выбросом CO₂ во время извлечения энергии. Кроме того, технология накопителя энергии на сжатом воздухе также страдает от географических ограничений, поскольку естественные резервуары (например, соляные купола) необходимы для хранения большого количества воздуха под высоким давлением [1].

Аккумуляторные батареи также были тщательно исследованы для хранения энергии в

масштабе сети. На данном этапе верхний предел выходной мощности и емкости накопления энергии находится в пределах характеристического диапазона для бестарного хранения; но не охватывают диапазон гидроаккумуляторов и накопителей энергии на сжатом воздухе. Кроме того, аккумуляторные батареи имеют некоторые внутренние ограничения, такие как: высокие производственные и эксплуатационные расходы, физические ограничения из-за переноса заряда и массы, необходимость дополнительных систем для обеспечения оптимальных условий эксплуатации. Однако аккумуляторные батареи обычно не страдают географическими ограничениями и длительным временем строительства, как в случае гидроаккумуляторов и накопителей энергии на сжатом воздухе [2].

Таким образом, существует явный пробел в существующих крупномасштабных решениях по ЭС: необходима технология с номинальной мощностью и мощностью, сопоставимой с гидроаккумуляторами, но без ее географических ограничений. Он должен быть легко развертываемым, как и батареи, но состоять из коммерчески доступных компонентов для ограничения затрат и рисков разработки. Решение данных проблем – это применения накопителя энергии на жидком воздухе (LAES).

Принцип работы криогенного накопителя

Рабочий процесс криогенного накопителя можно разделить на два рабочих процесса: накопление энергии и выработка электроэнергии. Интервал между двумя процессами более 8 часов [3].

На рисунках 1 и 2 представлены схемы цикла среднего давления с расширением части воздуха в детандере и диаграмма TS этого цикла. Воздух сжимается в компрессоре (К) до высокого давления и охлаждается в теплообменнике (T_1). Выходящий из теплообменника воздух делится на части: одна часть в количестве $(1 - M)$ кг поступает в детандер (Д) и расширяется до атмосферного давления (линия 3 – 4), совершая внешнюю работу. При этом воздух сильно охлаждается. Другая часть воздуха охлаждается в теплообменниках T_2 и T_3 (линия 3 – 6), дросселируется (линия 6 – 7) и поступает в отделитель жидкости (О). Пары, образующиеся в количестве $(M - x)$ кг, проходят теплообменник (T_3) и, соединившись с воздухом из детандера, поступают в теплообменники (T_2 , T_1), отдавая свой холод сжатому воздуху (по линии 8 – 1). Полученная криогенная жидкость направляется в резервуар. Резервуар (Р) для хранения криогенной жидкости и предполагает наличие теплоизоляции. Предполагаемая температура криогенной жидкости -200 °С. Емкость резервуара зависит от необходимой мощности установки с учетом испарения криогенной жидкости. Криогенный насос (позиция 9) для предназначенной перекачивания криогенной жидкости из резервуара в теплообменник (позиция 10), где происходит процесс фазового перехода рабочей среды в газообразное состояние. Теплообменное оборудование может быть представлено атмосферными испарителями или другим теплообменным оборудованием, которое греющая среда берется из отборов подогревателей низкого давления или отборов турбины.

Газотурбинная установка (позиция 11) состоит из газовой турбины и переменного тока генератора. В конструкции предусмотрены уплотнения, чтобы избежать утечки рабочей среды, при этом стоит высокая степень текучести азота [4].

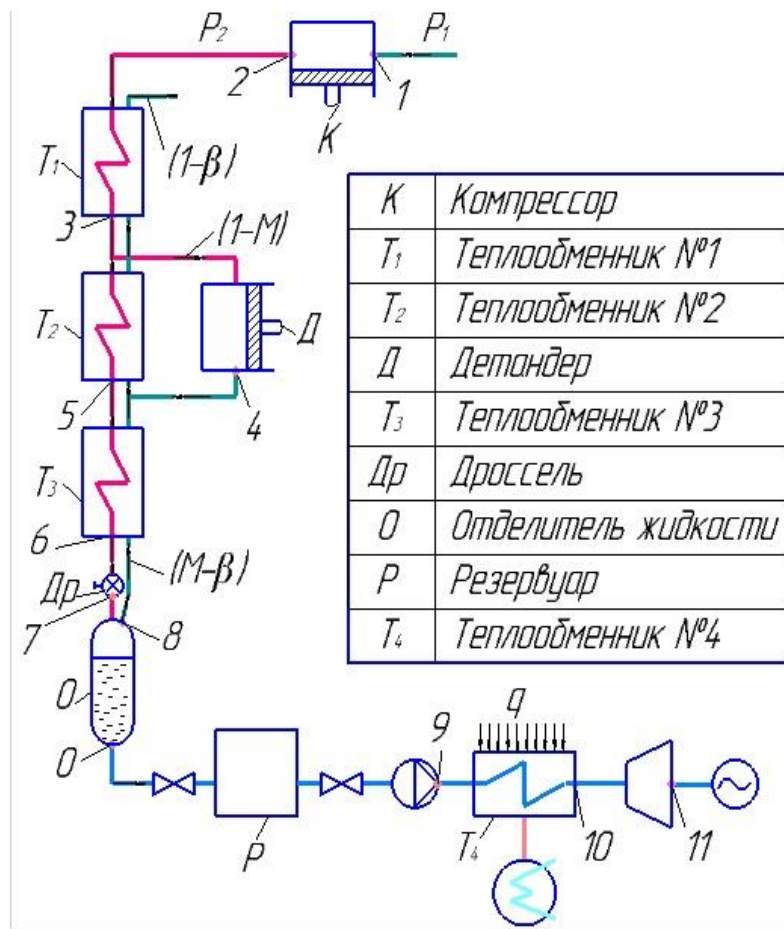


Рисунок 1 – Технологическая схема установки.

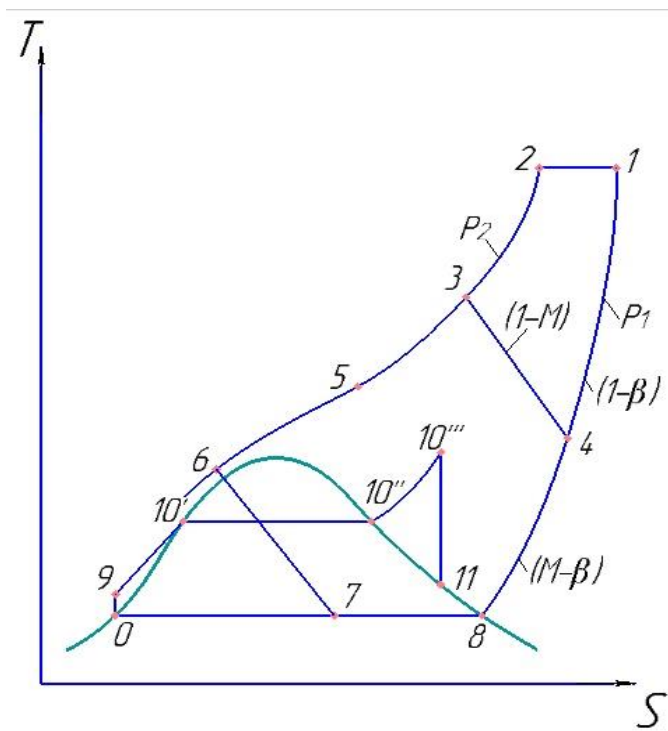


Рисунок 2 – TS диаграмма термодинамического цикла

Сравнение параметров крупномасштабных технологий хранения энергии

Теоретически получены области применения, которые показаны на рисунке 3. Принимая в учёт характеристики аналогов к жидкостному воздушному хранилищу энергии, составим таблицу 1 [5].

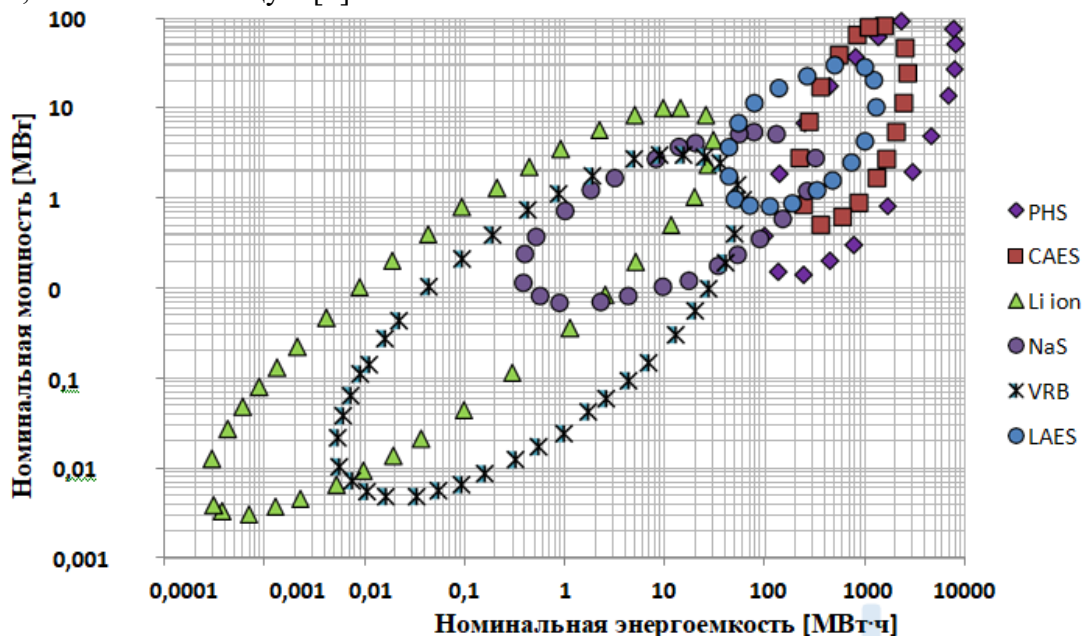


Рисунок 3— Сравнение номинальной мощности и номинальной энергоемкости крупномасштабных технологий хранения энергии.

Где PHS – гидроаккумулятор; CAES – накопитель энергии на сжатом воздухе; Li ion – литий – ионные батареи; NaS – натриево – серные батареи; VRB – проточная батарея окислительно – восстановительного потенциала ванадия; LAES – накопитель энергии на жидком воздухе.

Таблица 1 – Сравнение параметров крупномасштабных технологий хранения энергии

Параметры	Pb	Li	PHS с $\Delta H = 100$ м	LAES
Удельная энергия (Вт·ч/кг)	10...15	65...90	0,2	200
Количество циклов (DOD 80%)	500...1200	> 3000	> 10000	> 10000
Саморазряд % при 20 °C	3...25	3	0	0
Диапазон рабочих температур (°C)	0/+40	-10/+40	-30/+60	-30/+60
Время разряда (ч)	7	8	От 1 до 12	От 1 до 12
Время заряда (ч)	20	2	От 1 до 12	От 1 до 12

По полученным данным представлено сравнение с аналогами по стоимости на единицу емкости аккумулятора, показан на рисунке 4, а также зависимость стоимости хранения электроэнергии различных СНЭ от емкости на рисунке 5. Также по рисунку 6 наблюдается снижение стоимости батарей за счет уменьшения себестоимости.

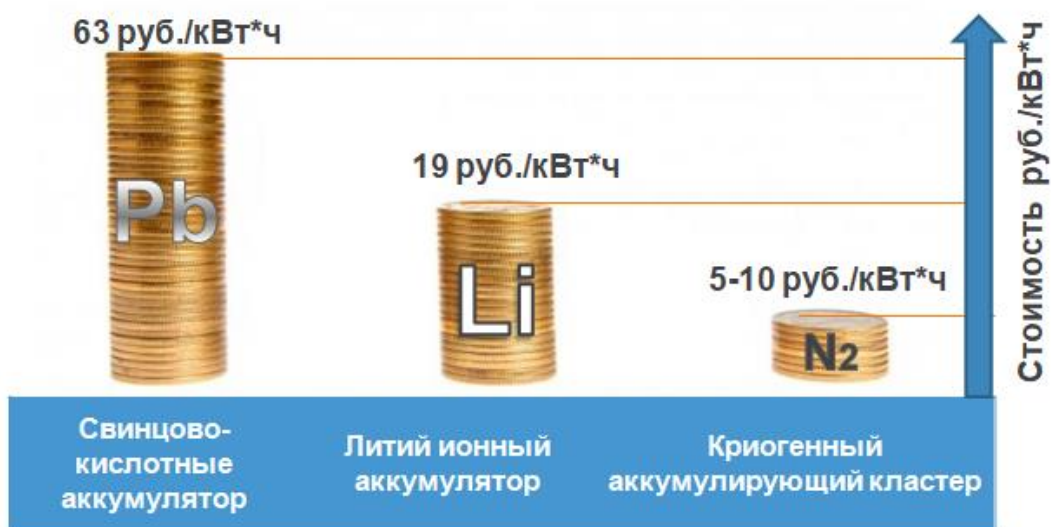


Рисунок 4 – Оценка себестоимости аккумуляторов.

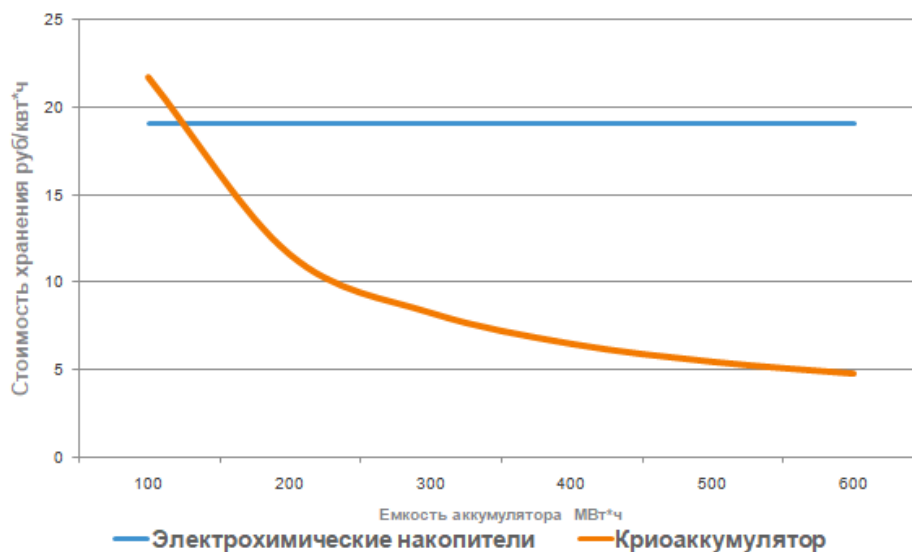


Рисунок 5 – Зависимость стоимости хранения электроэнергии различных СНЭ от емкости.

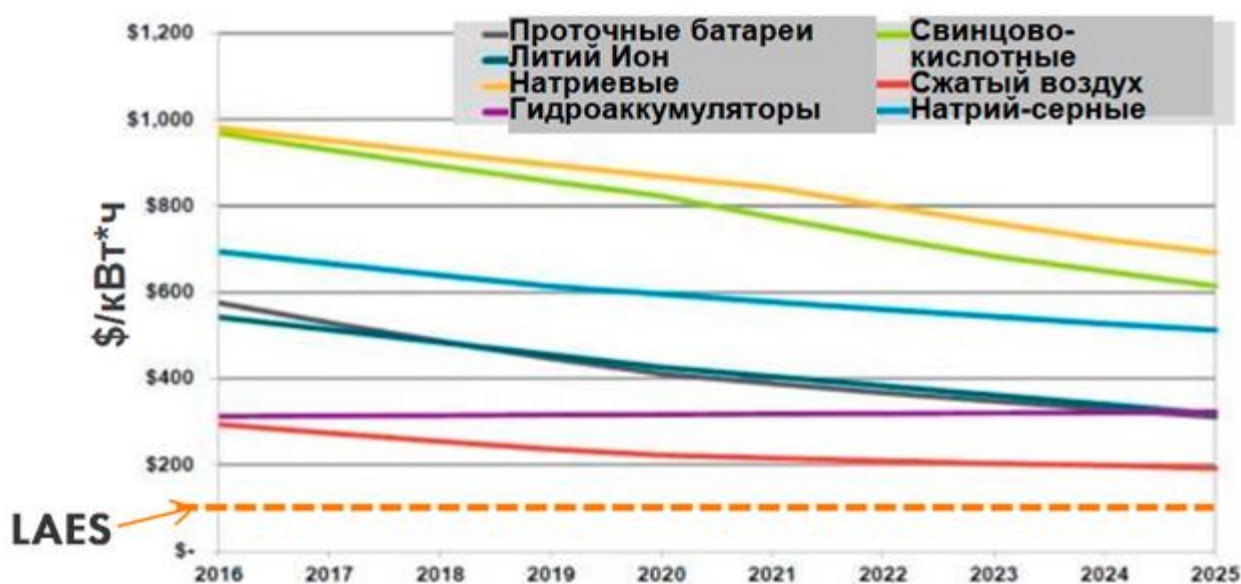


Рисунок 6 – Прогноз динамики стоимости систем хранения энергии.

Выводы

Накопители энергии на жидком воздухе (LAES) – это развивающаяся технология хранения энергии в масштабе энергосистемы, которая способна преодолеть ограничения существующих технологий. Результаты экспериментов показывают, что в коммерческом масштабе технология LAES может обеспечивать производительность, аналогичную гидроаккумуляторам и накопителям энергии на сжатом воздухе, но с гораздо большей гибкостью и возможностью интеграции с другими энергетическими системами. Представлена низкая себестоимость, низкая стоимость хранения электроэнергии LAES.

Список использованных источников

1. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс]: Сравнение литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторов при работе в стационарных системах хранения энергии. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/bas-batteries/sravnenie-litievyyh-i-svintsovyh-akkumulyatorov.htm>. - Загл. с экрана.
2. Попель О.С., Тарасенко А.Б. Современные виды электрохимических накопителей электрической энергии и их применение в автономной и централизованной энергетике // Теплоэнергетика. 2011. № 11. С. 2-11.
3. О нанотехнологиях [Электронный ресурс]: Испытано промышленное хранение энергии в жидком воздухе. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/ispytano-promyshlennoe-khranenie-energii-v-zhidkom-vozdukhe>. - Загл. с экрана.
4. Самир Суккар, Роберт Х. Уильямс. Хранение энергии сжатым воздухом: теория, ресурсы и приложения для энергии ветра / Самир Суккар, Роберт Х. Уильямс. - Принстонский институт окружающей среды. -2008.

5. Морган Р., Нельмес С., Гибсон Э., Бретт Г. Анализ крупномасштабной системы хранения энергии жидким воздухом / Морган Р., Нельмес С., Гибсон Э., Бретт Г. // Энергия. - 2015. - С. 1-10.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАДЁЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

С.В. Либов, О.Н. Титаренко, Б.А. Якимович

Энергетика - одна из стратегически важных отраслей нашей промышленности, основа экономической независимости и безопасности страны. Сегодня энергетика находится на пороге преобразований. В связи с этим эффективное управление энергетическими мощностями и распределением энергии играют важную роль в дальнейшем развитии государства.

Вопрос надёжного функционирования единой электроэнергетической системы России неразрывно связан с четким и квалифицированным управлением электроэнергетическим режимами. Рассмотрению этого вопроса и посвящена данная статья.

Введение

Надёжное функционирование единой электроэнергетической системы России обеспечивается при одновременном соблюдении следующих параметров: точное соответствие объемов произведенной и потребленной электроэнергии в каждый момент времени; нахождение всех технических параметров системы в области допустимых значений.

К современной электроэнергетической системе выдвигается ряд качественно новых требований, переводящих ее на новую ступень развития. В первую очередь, требования направлены на повышение эффективности использования энергии и надежности электроснабжения потребителей, а также на возможность значительно более гибкого участия субъектов рынка электроэнергии, в том числе, потребителей электроэнергии, в режимном и противоаварийном управлении в соответствии с их индивидуальными особенностями.

Решение вышеуказанных задач невозможно без проведения единой технической политики, связанной с внедрением интеллектуальных электрических систем. Ключевую роль в улучшении надежности работы единой электроэнергетической системы России играет Системный оператор, который определяет основные требования к функциональности и техническому совершенству систем технологического управления Единой энергосистемы.

В связи с этим совершенствование системы диспетчерского управления является одной из приоритетных задач развития энергетической отрасли. Значительную роль в процессе дальнейшего совершенствования системы диспетчерского управления является автоматизация этой системы.

Перспективы развития оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическим режимом предполагают максимальное использование средств автоматизации диспетчерского управления.

Цель работы

Целью данной работы является рассмотрение и анализ условий надёжного функционирования единой электроэнергетической системы России в современных условиях.

Особенности единой электроэнергетической системы России

Единая энергосистема - это совокупность объединённых энергосистем, соединённых межсистемными связями, охватывающая значительную часть территории страны при общем режиме работы и имеющая диспетчерское управление.

ЕЭС России охватывает практически всю обжитую территорию страны и является крупнейшим в мире централизованно управляемым энергообъединением. В настоящее время ЕЭС России включает в себя 77 энергосистем, работающих в составе шести работающих параллельно ОЭС - ОЭС Центра, Юга, Северо-Запада, Средней Волги, Урала и Сибири и ОЭС Востока, работающей изолированно от ЕЭС России. Кроме того, ЕЭС России осуществляет параллельную работу с ОЭС Украины, ОЭС Казахстана, ОЭС Белоруссии, энергосистемами Эстонии, Латвии, Литвы, Грузии и Азербайджана, а также связь с Финляндией через вставку постоянного тока в Выборге.

Основная цель создания и развития Единой энергетической системы России состоит в обеспечении надежного и экономичного электроснабжения потребителей на территории России с максимально возможной реализацией преимуществ параллельной работы энергосистем. В ней работают свыше 700 крупных электростанций, имеющих общую мощность более 250 млн. кВт (84% мощности всех электростанций страны). Управление ЕЭС осуществляется из единого центра.

Энергосистема Российской Федерации состоит из шести объединенных энергосистем (ОЭС) – ОЭС Центра, Средней Волги, Урала, Северо-Запада, Юга и Сибири) и территориально изолированных энергосистем (Чукотский автономный округ, Камчатский край, Сахалинская и Магаданская область, Норильско-Таймырский и Николаевский энергорайоны, энергосистемы центральной и северной частей Республики Саха (Якутия)).

Единая энергетическая система России располагается на территории, охватывающей 8 часовых поясов. Необходимостью электроснабжения столь протяжённой территории обусловлено широкое применение дальних электропередач высокого (до 500 кВ) и сверхвысокого напряжения (500-1150 кВ). Системообразующая электрическая сеть Единой энергетической системы состоит из линий электропередачи напряжения 220, 330, 500 и 750 кВ. В электрических сетях большинства энергосистем России используется шкала напряжений 110—220 — 500—1150 кВ. В ОЭС Северо-Запада и частично в ОЭС Центра используется шкала напряжений 110—330 — 750 кВ.

ОЭС, входящие в состав ЕЭС России, имеют различную структуру генерирующих мощностей, значительная часть энергосистем не сбалансирована по мощности и электроэнергии.

Основу российской электроэнергетики составляют свыше 700 электростанций суммарной мощностью около 240 ГВт, работающих в составе ЕЭС России. Две трети генерирующих мощностей приходится на тепловые электростанции - 67,88% (ТЭС на мазуте -1%, на угле -15%, на газе -47%). Около 55 % мощностей ТЭС составляют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), а 45 % — конденсационные электростанции (КЭС).

В электроэнергетический комплекс ЕЭС России входит 846 электростанций мощностью свыше 5 МВт каждая. На 1 января 2021 года общая установленная мощность электростанций ЕЭС России составила 245 313,25 МВт.

Ежегодно все станции вырабатывают около одного триллиона кВт·ч электроэнергии. Сетевое хозяйство ЕЭС России насчитывает более 10 700 линий электропередачи класса напряжения 110 – 1150 кВ.

Обеспечение надежного функционирования Единой энергетической системы России

Надежность, характеризующая функционирование энергосистемы, обеспечиваются совокупностью мероприятий:

- резервированием генерирующих мощностей и пропускных способностей линий электропередачи;
- оптимизацией электрических режимов с учетом балансов топлива и гидроресурсов;
- рациональным размещением энергообъектов;
- углублением и совершенствованием автоматизации диспетчерского управления.

В обеспечении надежности электроэнергетических систем основную роль выполняет Системный оператор.

В рамках обеспечения надежного функционирования Единой энергетической системы (ЕЭС) России, Системный оператор управляет электроэнергетическим режимом ЕЭС и выполняет следующие функции:

- расчет электроэнергетических режимов, анализ устойчивости энергосистемы, расчет допустимых потоков мощности по отдельным сетевым элементам и их группам;
- планирование электроэнергетических режимов работы энергообъектов и энергосистем, формирование диспетчерского графика нагрузок электростанций;
- оперативное управление режимом энергосистем в реальном времени;
- управление режимами параллельной работы ЕЭС России с энергосистемами зарубежных государств;
- участие в контроле фактического технического состояния объектов энергетики и расследовании нарушений, влияющих на системную надежность ЕЭС;
- развитие и обеспечение функционирования систем релейной защиты, автоматического управления режимом и противоаварийной автоматики;
- обеспечение надежного функционирования технологических систем диспетчерских центров, создание и обеспечение функционирования системы резервных диспетчерских центров;
- подготовка, поддержание и повышение квалификации персонала.

Одна из особенностей электрической энергии состоит в том, что она не поддается накоплению в экономически значимых промышленных объемах и передается практически мгновенно – со скоростью распространения электромагнитного поля, то есть потребляется в момент производства. Поэтому надежное функционирование энергосистемы обеспечивается при одновременном соблюдении следующих параметров:

- точное соответствие объемов произведенной и потребленной электроэнергии в каждый момент времени
- нахождение всех технических параметров системы в области допустимых значений.

Для обеспечения такого соответствия, с одной стороны, необходимо точное планирование потребления электроэнергии, топологии и пропускной способности сети, с другой стороны, необходимо наличие генерации, способной покрыть это потребление, на любом интервале времени — на секунду, на сутки, на годы вперед. Также для обеспечения баланса между мощностью генерации и мощностью потребления необходим механизм непрерывного управления электрическими станциями, позволяющий оперативно увеличивать или уменьшать их мощность.

В единый процесс производства, распределения и потребления электрической

энергии в масштабах Единой энергосистемы России вовлечены одновременно сотни электростанций, тысячи линий электропередачи и миллионы потребителей. Заблаговременно рассчитать и спланировать режимы работы всех объектов энергосистемы, а затем в реальном времени решить задачу управления непрерывным производством, передачей, распределением и потреблением электроэнергии так, чтобы обеспечить в каждый момент времени в каждой точке энергосистемы равенство между производством и потреблением электроэнергии и мощности, способен только Системный оператор, обладающий необходимым инструментарием, технологиями и компетенцией.

С этой целью Системный оператор наделен уникальными правами:

- определять перечень объектов диспетчеризации, объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, технологический режим работы и эксплуатационное состояние которых влияют или могут влиять на электроэнергетический режим работы энергосистемы;
- планировать режимы работы этих объектов;
- отдавать на объекты обязательные для исполнения команды и разрешения.

Соответствующие полномочия системного оператора закреплены Федеральным законом № 35 ФЗ «Об электроэнергетике». Отказ от исполнения диспетчерских команд недопустим кроме случаев, когда их исполнение создает угрозу жизни людей, сохранности оборудования или приводит к нарушению условий безопасной эксплуатации атомных электростанций [1].

Таким образом, можно сделать вывод, что надежное функционирование ЕЭС России в основном обеспечивает система оперативно-диспетчерского управления.

ОАО «НТЦ электроэнергетики» разработана концепция, предназначенная для определения принципиальных подходов к построению инновационной Единой национальной электрической сети (ЕНЭС), которая бы соответствовала наиболее современным требованиям развития электроэнергетики и охватывала совокупность задач управления режимами функционирования Единой электроэнергетической системы, передающих и распределительных сетей с точки зрения совершенствования технологий производства, передачи, преобразования, распределения и потребления электрической энергии [3].

Интеллектуальная или активно-адаптивная ЕНЭС представляет собой совокупность подключённых к генерирующим источникам, распределительным электрическим сетям и потребителям электроэнергии элементов электрических сетей высокого и сверхвысокого напряжения и систем управления, включающих:

- линии электропередачи, оснащённые при необходимости установками для изменения продольных и поперечных реактивных сопротивлений, а также автоматизированными системами контроля их технического состояния;
- устройства электромагнитного преобразования электроэнергии с широкими возможностями регулирования, а также средства накопления и аккумуляирования энергии;
- коммутационные аппараты с высокой отключающей способностью и большим коммутационным ресурсом;
- исполнительные механизмы, позволяющие в реальном масштабе времени воздействовать на активные элементы сети, изменяя её параметры;
- большое количество датчиков положений и текущих режимных параметров с высокой скоростью фиксации показаний в цифровом виде;
- современные цифровые устройства защиты и автоматики;
- информационно-технологические и управляющие системы, в т.ч. программное

обеспечение и технические средства адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети и электроустановки потребителей;

- быстродействующую многоуровневую управляющую систему с различными временными циклами для разных уровней управления;

- систему координации управляющих воздействий при обменах с локальными центрами управления при возникновении аварийных ситуаций.

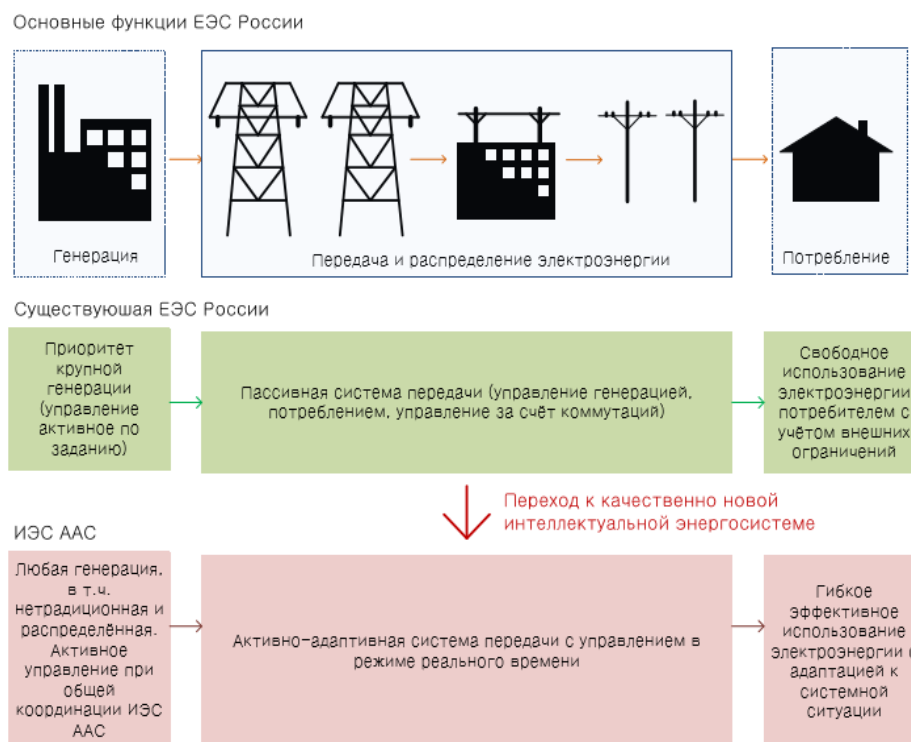


Рис. 1. Переход к интеллектуальной энергосистеме с активно-адаптивной сетью

Использование современных цифровых систем диспетчерского управления – инновационное направление в электроэнергетике

Одним из основных инновационных направлений в энергетике, способствующим повышению надежности, является широкое внедрение интеллектуальных сетей, цифровых подстанций, а также использование автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ).

Применение АСДУ позволяет обеспечивать надежное и качественное электроснабжение потребителей электрической энергией, предупреждение аварий, вести непрерывный контроль режимов работы энергообъектов.

Данные системы представляют собой совокупность различных средств, включая технические, аппаратные и программные, которые служат для автоматизации сложной работы оборудования и персонала, а также обеспечивают рациональный контроль с диспетчерских пультов и пунктов.

Основными достоинствами этой системы можно назвать следующие:

- снижение влияния человеческого фактора, что значительно уменьшает количество ошибок;

- обеспечение функционирования объектов без постоянного обслуживающего персонала;
- возможность непрерывного контроля над всеми инженерными системами с диспетчерских пультов;
- точное соблюдение технологических нормативов электрической энергии;
- постоянный мониторинг режимов работы энергетических объектов;
- значительное упрощение документооборота и составление отчетов.

АСДУ подстанций можно представить в виде распределенной иерархической системы, на каждом уровне которой решается определенный комплекс поставленных задач, направленных на выполнение основных функций оперативно-технологического управления [4].

Можно выделить три основных уровня автоматизированных систем диспетчерского управления.

Информация, полученная с контролируемых объектов, на первом уровне производится собирается и проходит первичную обработку. Также на этом уровне производится решение определенных локальных задач сигнализации, измерений, диагностики и защиты с дальнейшей передачей результатов первичной обработки на более высокие уровни системы управления. Для этой цели используются программируемые контроллеры сбора данных, производящие сбор информации с микропроцессорных средств защиты и средств учета электроэнергии. Вся аппаратура первого уровня расположена непосредственно на объектах управления (например, подстанциях, линиях электропередачи).

Первый уровень представляет собой сеть программируемых микропроцессорных контроллеров, ведущих процесс сбора и предварительной обработки первичной информации, выполняющих задачи местного управления оборудованием.

Второй уровень - это уровень филиала, который состоит из архивного сервера сбора, обработки и хранения информации, полученной с предыдущего уровня. Здесь находится автоматизированное место диспетчера (АРМ) и диспетчерский щит с его сервером.

Третий (верхний уровень) состоит из АРМ диспетчера и сервера головного офиса.

Данный способ построения автоматизированной системы позволяет создать на территории каждой подстанции оперативный пункт управления, включающий в себя комплекс технических средств защиты, управления, обработки и выдачи информации о состоянии силового оборудования, находящегося на данной подстанции. Такой пункт управления поддерживает обмен данными on-line с более высокими уровнями системы диспетчерского управления.

Таким образом, цифровая автоматизированная система диспетчерского управления осуществляет комплексное управление и защиту объектов электроэнергетики на всех режимах ее работы.

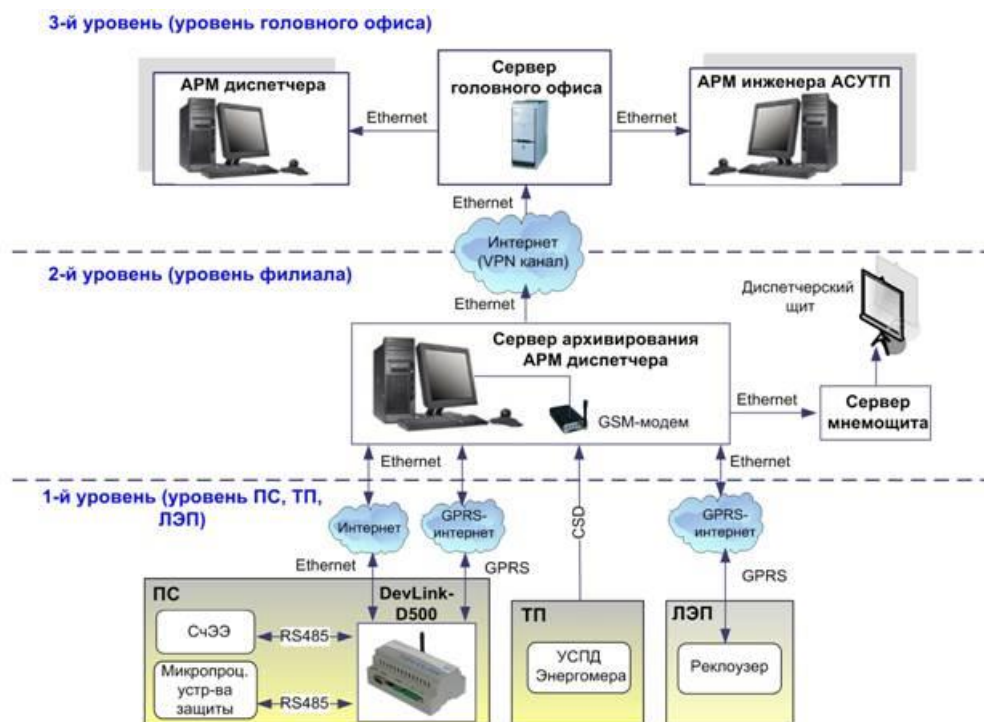


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы диспетчерского управления

Выводы

Надёжное функционирования единой электроэнергетической системы России определяется надёжностью функционирования отдельных элементов этой системы. Создание интеллектуальных сетей и цифровых подстанций является одним из основных перспективных направлений энергетической отрасли, позволяющих успешно решать задачи мониторинга и регулирования сложных процессов в электроэнергетической системе с целью повышения ее энергетической эффективности и надежности.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Об электроэнергетике".
2. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ.
3. Троицкий А. А. Об экономической оценке энергетических инноваций развития тепловых электростанций России // Электрические станции. 2013. № 7.
4. Пилипенко Г. В. Тенденции построения технологической сети связи электроэнергетики в современных условиях // Электрические станции. 2014. № 3.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КАК ЭЛЕМЕНТА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.В. Котляр, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко

В современном мире все актуальней становится проблема энергосбережения, а вопрос об экономии энергии приобретает большую значимость. Задача рационального использования энергетических ресурсов находит свое решение в разработке энергоэффективного оборудования. В связи с общемировой тенденцией к удорожанию энергоресурсов особенно актуальным становится вопрос снижения потерь электроэнергии в силовых трансформаторах. Поэтому использование энергосберегающих трансформаторов является важной частью общей задачи энергосбережения в энергетике.

Введение

Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" определяет три ключевых понятия: энергосбережение, энергетическая эффективность и класс энергетической эффективности. Энергетическая эффективность характеризуется отношением полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта [5]. Так как энергоэффективность трансформатора характеризуется его потерями, то применение современных энергоэффективных трансформаторов является одной из основных задач при передаче электроэнергии в распределительном электросетевом комплексе.

Цель работы

Целью данной статьи является анализ использования энергоэффективных трансформаторов как элемента энергосбережения в системах электроснабжения.

Характеристика энергоэффективных силовых трансформаторов

В современном мире все актуальней становится проблема энергосбережения, а вопрос об экономии энергии приобретает большую значимость.

Задача рационального использования энергетических ресурсов находит свое решение в разработке энергоэффективного оборудования. Это основная задача, которую ставят перед собой ведущие производители электротехники.

Силовые распределительные трансформаторы мощностью 25–630 кВА напряжением 6–10 кВ - наиболее массовая серия производимых и эксплуатируемых

силовых трансформаторов как в нашей стране, так и за рубежом. Общее количество распределительных трансформаторов в России составляет более чем 4 млн. штук.

Ежегодное потребление электроэнергии в России находится на уровне 1000 миллиардов кВт*ч, при этом общие потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 7,5 миллиардов кВт*ч и примерно 50% — это потери в магнитопроводах трансформаторов.

Ежегодные затраты на обслуживание одного распределительного трансформатора с магнитопроводом из холоднокатаной электротехнической стали составляют примерно 8% от его первоначальной стоимости.

Наиболее перспективным направлением снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов является применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов. В этом случае возможно обеспечить примерно пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с трансформаторами, у которых магнитопровод изготовлен из электротехнической стали.

Основные тенденции развития конструкции силового трансформатора экономически определяется сочетанием двух взаимоисключающих тенденций:

- 1) требованием рынка к удешевлению трансформатора в целом как товара;
- 2) необходимостью применения более дорогих технологий для изготовления трансформатора как товара с более привлекательными потребительскими свойствами.

Конструкционные изменения трансформаторов с точки зрения повышения энергоэффективности в какой-то мере определяются законами спроса и предложения, которые сориентированные на рыночные цены на новые силовые трансформаторы. Революционное развитие конструкции трансформатора приведет к его резкому удорожанию (например, рыночная цена на российский ТМГ-1000/10/0.4 составляет примерно 400 000 – 450 000 рублей у разных производителей).

С другой стороны, энергоэффективность энергохозяйства является актуальной проблемой. Потери энергии влекут за собой потерю финансовых средств. Сокращения потерь электроэнергии в значительной мере можно добиться именно революционным изменением конструкции трансформатора и материалов, в нем используемых.

Способы повышения энергоэффективности трансформаторов

Возможные способы повышения энергоэффективности силового трансформатора связаны с изменением следующих параметров:

- оптимального коэффициента нагрузки, который определяет отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора;
- близком к единице коэффициента мощности, которых представляет отношение активной и реактивной мощности потребителя;
- мощности потерь холостого хода (мощности потерь в магнитопроводе трансформатора), которая должна уменьшаться;
- мощности потерь короткого замыкания (мощности потерь в обмотках трансформатора) которая должна уменьшаться.

Оптимизация коэффициента нагрузки и коэффициента мощности

Оптимальный коэффициент нагрузки можно получить, когда в первичной и во вторичной сети отсутствуют колебания напряжений. Высокий коэффициент мощности возможен при оптимальной компенсации реактивной мощности.

Поэтому для решения данных задач одним из вариантов может быть использование так называемой «умной сети» (Smart Grid), т.е. построение интеллектуальной электрической распределительной сети, позволяющей повысить рентабельность, надежность и безотказность работы, снизить потери в сетях.

Для того, чтобы уменьшить колебания напряжения, необходимо осуществлять переключение с одной вторичной обмотки на другую, имеющую другое число витков. В данном случае время наиболее перспективным является использование в качестве электронных переключателей тиристоров - полупроводниковых устройств, использующих свойства р-п перехода. Использование тиристоров даст возможность повысить качество электрической энергии, а следовательно стабильность напряжения, что предполагает более надежную работу энергетической сети [2].

В настоящее время напряжение в сети регулируется трансформаторами, в которых переключения между обмотками осуществляется электромеханическим способом. Так как в некоторых случаях такое переключение должно длиться не более одной секунды, происходит быстрый износ контактов. Для решения указанной проблемы необходимо отказаться от электромеханических переключателей в пользу перехода к твердотельным переключателям, надежность которых значительно выше, хотя такие переключатели являются более сложными в управлении.

Способы уменьшения мощности потерь холостого хода

Мощность потерь холостого хода P_{xx} связана с конструктивными особенностями магнитопровода трансформатора. Поэтому очевидным является тот факт, что для уменьшения мощности потерь холостого хода, т.е. потерь в магнитопроводе, необходимо изменение конструкции и материала магнитопровода.

Одним из наиболее перспективных путей снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов является применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов. Именно сердечники из аморфной стали позволяют оптимизировать энергоэффективность. Использование вышеуказанных магнитопроводов дает возможность обеспечить пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали.

Аморфные сплавы обладают следующими свойствами:

- более высокая прочность, чем у лучших сортов легированных сталей;
- высокая износостойкость;
- низкая пластичность (в среднем ниже на 30%);
- исключительно высокая коррозионная стойкость;
- более низкая электропроводность, вследствие чего частично или полностью отпадает необходимость в изоляции пластин в пакетах сердечников, что означает уменьшение габаритов;
- ниже потери на токи Фуко;

- более низкая (на 2 порядка) магнитная анизотропия, что приводит к резкому снижению потерь при перемагничивании;
- более высокое значение начальной магнитной проницаемости в широком диапазоне частот.

На данный момент технология производства не позволяет получать металлический прокат аморфной стали больших размеров, поэтому применение её в трансформаторах большой мощности пока затруднительно. В основном аморфные сплавы применяются при конструировании и производстве измерительных и распределительных трансформаторов напряжением до 10 кВ и мощностью до 1000 кВА. В связи с малой толщиной аморфный материал наиболее пригоден для витой конструкции магнитопровода [3].

Из-за меньшей индукции насыщения аморфной стали по сравнению с электротехнической сталью, а также меньшего коэффициента заполнения сечения магнитопровода (0,8-0,85) по сравнению с этим коэффициентом у трансформаторов из электротехнической стали, сечения аморфного магнитопровода больше, что приводит к более высоким весогабаритным показателям по сравнению с трансформаторами с анизотропной сталью. Однако стоимость распределительных трансформаторов с магнитопроводами из аморфной стали в два раза превышает стоимость обычных трансформаторов.

При проектировании и производстве трансформаторов замена анизотропной стали аморфным сплавом даёт значительную экономию потерь от вихревых токов в магнитопроводе. Это объясняется тем, что магнитные потери у трансформатора с магнитопроводом из аморфного сплава примерно в 4-5 раз меньше, чем у трансформатора из анизотропной электротехнической стали.

Энергосберегающий трансформатор с магнитопроводом из аморфной стали представлен на рисунке 1.

Также существует конструкция магнитопровода трансформатора, в которой стыки отсутствуют вообще. Такой магнитопровод называется витым или пространственным. Трансформатор с витым магнитопроводом представлен на рисунке 2.



Рис.1. Трансформатор магнитопроводом из аморфной стали



Рис.2. Трансформатор с витым магнитопроводом

Способы уменьшения мощности потерь короткого замыкания

Для уменьшения мощности потерь короткого замыкания, т.е. потерь в обмотках, необходимы конструктивные изменения в обмотках силового трансформатора. В этой области рассмотрим разработки в следующих направлениях [3].

Одним из направлений является использование высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов. Трансформаторы с обмотками из ВТСП-материалов имеют следующие преимущества:

- увеличение КПД трансформатора за счет снижения нагрузочных потерь при номинальном токе почти в два раза;
- уменьшение веса и габаритов трансформатора примерно на 40%, что предполагает применение таких трансформаторов в существующих подстанциях без их конструкционных изменений со значительным увеличением мощности;
- ограничение токов короткого замыкания, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- значительное уменьшение реактивного сопротивления, позволяющее обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;
- увеличение перегрузочной способности без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- уменьшение уровня шума;
- пожаробезопасность и экологичность трансформаторов.

Другое направление энергосбережения определяет возможность уменьшения мощности потерь короткого замыкания за счет выполнения обмоток трансформатора из специального кабеля. На рисунке 3 представлен новый тип трансформатора DryFormer, обмотки которого выполнены из указанного кабеля. Специальный кабель имеет многопроволочную медную или алюминиевую токопроводящую жилу, сверх которой расположен тонкий слой полупроводящего материала. Полупроводящий материал используется для уменьшения неравномерности электрического поля, вызванного многопроволочностью жилы. Как правило, изоляция такой жилы выполняется из полиэтилена, ее толщина выбирается из соображений электрической прочности

(уровень напряжения 220 кВ). Поверх изоляции расположен экран, выполненный также из полупроводящего материала, который заземляется для обеспечения рационального распределения электрического поля.



Рис.3. Кабельный трансформатор типа DryFormer

Пожаробезопасность и экологичность таких трансформаторов обусловлена отсутствием масла и снижением более чем в два раза доли горючих материалов по сравнению с обычным трансформатором. Эти факторы устраняют риск пожара, взрыва, загрязнения воды и почвы при повреждении трансформатора, что в свою очередь позволяет применять такие аппараты в зонах с большой плотностью населения, в подземных установках, в экологически охраняемых регионах. Для трансформатора с обмотками из специального кабеля не нужны вводы высокого напряжения. Кабель, которым выполнена обмотка, протягивается к распределительному устройству на любую длину.

Выводы

В связи с общемировой тенденцией к удорожанию энергоресурсов особенно важным является вопрос снижения потерь электроэнергии в силовых трансформаторах. Поэтому использование энергосберегающих трансформаторов является частью общей задачи энергосбережения в энергетике.

С целью повышения энергоэффективности трансформаторных подстанций необходим комплекс мер по скорейшей разработке и реализации стратегии внедрения энергосберегающих трансформаторов в электросетевой комплекс России.

Большие энергетические потери в сетях, а также рост тарифов на электроэнергию создают необходимость разработки силовых трансформаторов с пониженными потерями.

Существующие конструктивные способы уменьшения суммарных потерь в трансформаторах позволяют существенно повысить энергоэффективность трансформации электроэнергии. Использование инновационных материалов, в частности в магнитопроводах силовых трансформаторов, обеспечит качественный скачок в снижении затрат на функционирование всей сети электроснабжения.

Список использованных источников

Список использованных источников

1. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Магницкий А.А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергия единой сети. — 2017. — № 5 (34). — с. 20 — 31.
2. Савинцев Ю. М. «Инновационный сухой трансформатор — реальная энергоэффективность». // «Промышленные страницы Сибири». 2020 год. № 4-5 (148-149). Стр. 66-69.
3. Пекелис В.Г., Мышковец Е.В., Леус Ю.В. Определение оптимальных уровней потерь холостого хода и короткого замыкания для различных режимных условий работы трансформаторов мощностью до 1600 кВА // Электро. — 2003. — № 1. — с. 42 — 46.
4. Е.В. Калинин, А.И. Чивенков. Прогнозирование прироста потерь в стыках сердечников силовых трансформаторов // Интеллектуальная электроника. — 2018. — № 3 Стр. 95-99.
5. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

А.А. Калмусова, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко

Применение различных энергосберегающих технологий и устройств в настоящее время становится все более актуальной задачей. Большинство потребителей электроэнергии наряду с активной мощностью являются потребителями и реактивной мощности, которая расходуется на создание электромагнитных полей и вызывает потери активной мощности.

Компенсация реактивной мощности продлевает функционирование электронного оборудования, снижает технические потери активной энергии на распределительных устройствах систем питания и уменьшает перепады напряжения в элементах электросети.

В статье рассмотрены современные способы компенсации реактивной мощности, позволяющие уменьшить объем потребляемой реактивной мощности и добиться значительного экономического эффекта за счет снижения потерь.

Введение

Передача реактивной мощности от генераторов по электрической сети к потребителям (индукционным приемникам энергии) вызывает в сети затраты активной мощности в виде потерь и дополнительно загружает элементы электрической сети, снижая их общую пропускную способность. Наличие в электрической сети реактивной мощности также ухудшает качество электроэнергии, является причиной дополнительных потерь в элементах электрической сети.

Способы компенсации реактивной мощности различны: с помощью синхронных компенсаторов, конденсаторных установок, шунтирующих реакторов, фильтрами высших гармоник, статическими тиристорными компенсаторами.

Компенсация реактивной мощности в настоящее время является немаловажным фактором, позволяющим решить вопрос энергосбережения и снижения нагрузок на электрическую сеть, обеспечивая необходимый запас устойчивости электроэнергетической системы.

По оценкам отечественных и ведущих зарубежных специалистов, доля энергоресурсов, и в частности, электроэнергии занимает значительную величину в себестоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы со всей серьезностью подойти к использованию современных устройств компенсации реактивной мощности.

Цель работы

Целью данной работы является анализ некоторых современных технологий компенсации реактивной мощности, как перспективного решения вопросов энергосбережения и улучшения качества электрической энергии.

Средства компенсации реактивной мощности

Реактивная мощность относится к техническим потерям в электросетях согласно Приказу Минпромэнерго РФ № 267 от 04.10.2005.

При нормальных рабочих условиях потребители электрической энергии, режим работы которых сопровождается постоянным возникновением электромагнитных полей (электродвигатели, оборудование сварки, люминесцентные лампы и многое др.) нагружают сеть как активной, так и реактивной составляющими полной потребляемой мощности. Реактивная составляющая мощности необходима для работы оборудования, содержащего значительные индуктивности, но и является нежелательной дополнительной нагрузкой на сеть [1].

При значительном потреблении реактивной мощности напряжение в сети понижается. В дефицитных по активной мощности энергосистемах уровень напряжения, как правило, ниже номинального. Недостаточная для выполнения баланса активная мощность передается в такие системы из соседних энергосистем, в которых имеется избыток генерируемой мощности. Обычно энергосистемы дефицитны по активной мощности, дефицитны и по реактивной мощности. Но недостающую реактивную мощность эффективнее не передавать из соседних энергосистем, а генерировать в компенсирующих устройствах, установленных в данной энергосистеме. В отличие от активной мощности реактивная мощность может генерироваться не только генераторами, но и компенсирующими устройствами [1].

При недостатке реактивной мощности у потребителей наблюдается перегрузка коммутационной аппаратуры и трансформаторов, потеря напряжения и перегрев кабеля [3]. Для решения этих проблем используют следующее оборудование:

- батареи синхронных конденсаторов - ёмкостные устройства, которые состоят из ряда конденсаторов и дополнительного оборудования. Преимущества использования таких средств компенсации: простота монтажа, мобильность и небольшие собственные удельные потери мощности;
 - синхронные компенсаторы - устройства большой мощности, предназначенные для потребления или выработки реактивной мощности с номинальным входным напряжением около 6-10 кВ. Такие компенсаторы совмещают в себе возможность конденсатора и реактора;
 - синхронные электродвигатели, которые используются для привода мощных агрегатов без возможности регулировки частоты вращения;
 - компенсационные преобразователи, генерирующие дополнительное напряжение.
- При избытке реактивной мощности используется оборудование:
- управляемые и неуправляемые шунтирующие реакторы. Они бывают. Принцип работы неуправляемых шунтирующих реакторов состоит в подключении к воздушным линиям и снижении перегрузки коммутационной аппаратуры при включенных линиях электропередач, управляемых - поддержка напряжения без использования высоковольтных выключателей и повышения предела статической устойчивости.
 - синхронные компенсаторы – устройства, работающие при изменяющемся токе возбуждения и поддерживающие оптимальный уровень напряжения сети [6].

Устройства регулирования реактивной мощности на базе современной силовой электроники

Одной из наиболее перспективных технологий регулирования реактивной мощности являются самокоммутируемые преобразователи напряжения.

Самокоммутируемые компенсаторы для стабилизации систем передачи

электроэнергии улучшают регулирование напряжения, обеспечивают правильный коэффициент мощности, а также могут быть использованы для реализации продольной и последовательной компенсации. Самокоммутируемые преобразователи напряжения наглядно демонстрируют основную технологию систем FACTS – способность как генерировать, так и потреблять реактивную мощность.

Работа компенсаторов реактивной мощности реализуется с помощью самостоятельной коммутации на преобразователе напряжения.

Управление реактивной мощностью осуществляется путем изменения амплитуды напряжения на выходе преобразователя, которое изменяется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

При увеличении или уменьшении напряжения на выходе преобразователя происходит сравнение этого напряжения с напряжением вторичной обмотки трансформатора, что вызывает изменение напряжения на соответствующем реакторе продольной компенсации. Таким образом, самокоммутируемый преобразователь может работать в режиме потребления реактивной мощности, когда $U_g < U_0$ (индуктивный режим), или в режиме генерации реактивной энергии, когда $U_g > U_0$ (емкостной режим).

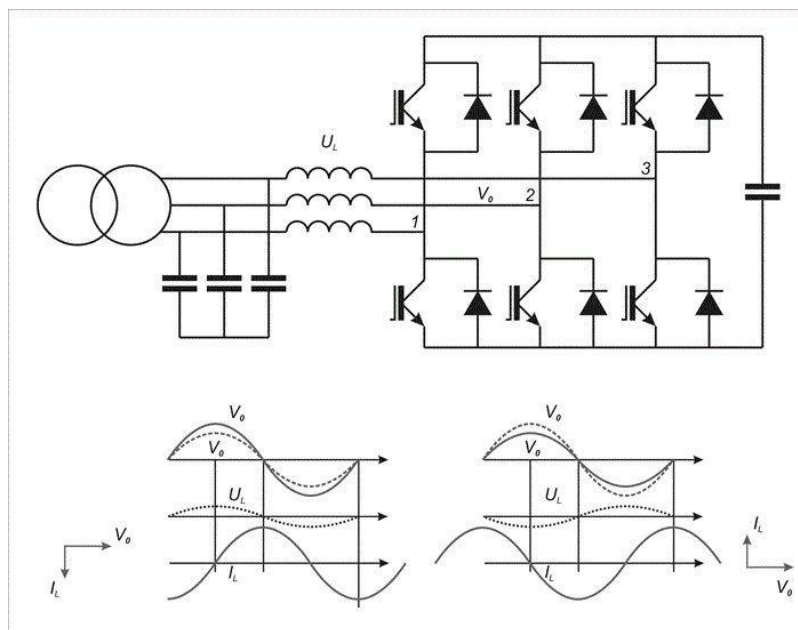


Рис. 1. Схема самокоммутируемого преобразователя напряжения

U_0 – напряжение вторичной обмотки трансформатора,

U_g – напряжение основной гармоники напряжения на выходе преобразователя.

Еще одним перспективным решением вопроса регулирования реактивной мощности является устройство динамической компенсации реактивной мощности STATCOM, в качестве основного элемента которого используется полностью управляемый инвертор, построенный на базе биполярных транзисторов с управляемым затвором (IGBT).

STATCOM представляет собой управляемый источник напряжения (УИН) с внутренним сопротивлением, практически равным нулю. Его подключение к сети производится через линейный реактор, обеспечивающий преобразование разности напряжений сети и УИН в выходной ток STATCOM, т.е. превращения источника напряжения в источник тока (рис.2).

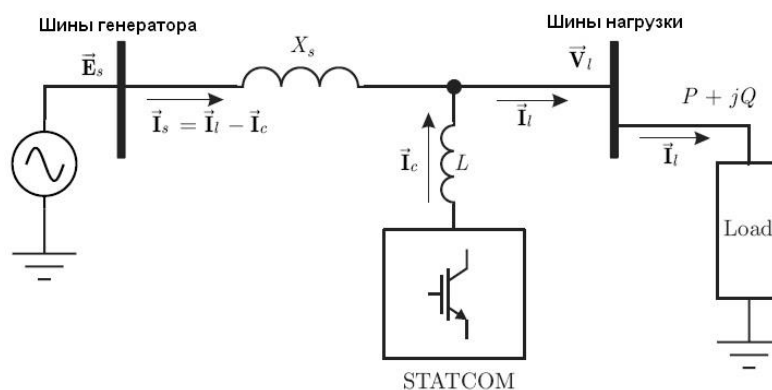


Рис. 2. Однолинейная схема подключения STATCOM к сети

Статические синхронные компенсаторы типа STATCOM представляют собой многоуровневые самокоммутирующиеся преобразователи, задачей которых является перераспределение реактивной энергии между фазами. Это перераспределение реактивной энергии определяет способность статического синхронного компенсатора к генерации и потреблению реактивной мощности.

Статические синхронные компенсаторы типа STATCOM являются более быстродействующими по сравнению с другими преобразователями и исключают перегрузки.

Статические синхронные компенсаторы типа STATCOM широко используются в электроэнергетических системах, нефтехимической и металлургической отраслях, в электроснабжении электрифицированного железнодорожного транспорта и т.д.

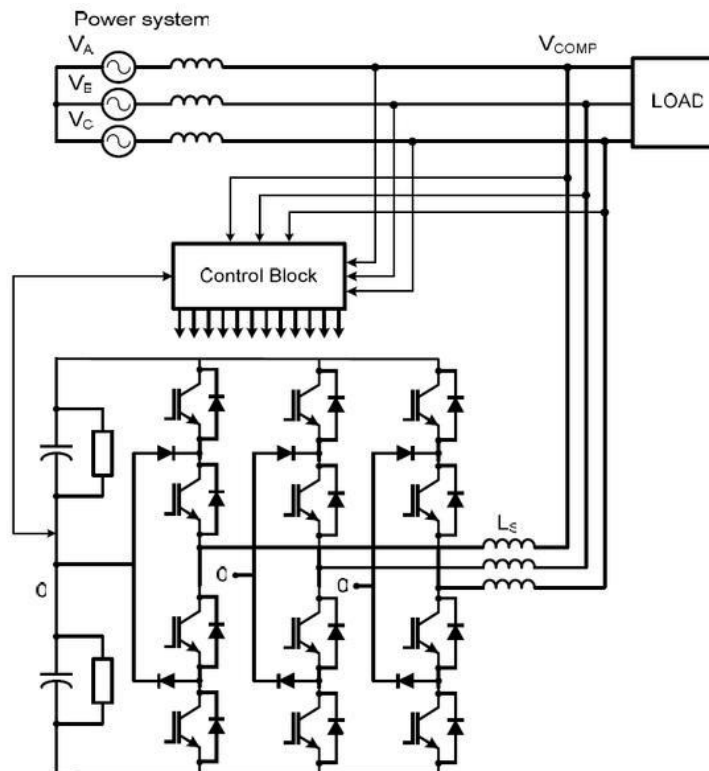


Рис. 3. Типовая схема статических синхронных компенсаторов типа STATCOM

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности являются одними из основных современных средств, обеспечивающих повышение эффективности работы и энергосбережения систем передачи и распределения электрической энергии.

Компенсация реактивной мощности с помощью статических тиристорных компенсаторов позволяет:

- снизить тепловые потери тока и общие расходы на электроэнергию за счет повышения $\cos\phi$;
- уменьшить нагрузку на элементы распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок службы;
- устранить влияние высших гармоник, что позволяет обеспечить повышение производительности технологического оборудования за счет снижения аварийности, связанной с нарушением работы и выходом из строя элементов сети (кабельные линии, силовые трансформаторы), микропроцессорной техники;
- добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей, что предполагает снижение эксплуатационные издержки;
- для дуговых электросталеплавильных печей сократить время цикла плавки, снизить расходы на электроды и футеровку, существенно уменьшить эффект фликера;
- привести в соответствие нормам ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия» уровень помех в виде высших гармонических составляющих, генерируемых потребителями электроэнергии в питающую их сеть.

Московское предприятие АО Нидек АСИ ВЭИ является ведущей компанией в России по производству статических тиристорных компенсаторов реактивной мощности.

Выводы

Работа электроэнергетической системы определяется основными требованиями, такими как надежность, бесперебойность и качество электроснабжения. Одним из основных условий обеспечения этих требований является контроль параметров и управление реактивной мощностью со стороны сетевых компаний.

Применение различных энергосберегающих технологий и устройств в настоящее время становится все более актуальной задачей. Большинство потребителей электроэнергии наряду с активной мощностью являются потребителями и реактивной мощности, которая расходуется на создание электромагнитных полей и вызывает потери активной мощности.

Передача реактивной мощности от генераторов по электрической сети к потребителям (индукционным приемникам энергии) вызывает в сети затраты активной мощности в виде потерь и дополнительно загружает элементы электрической сети, снижая их общую пропускную способность. Наличие в электрической сети реактивной мощности также ухудшает качество электроэнергии, является причиной дополнительных потерь в элементах электрической сети.

Способы компенсации реактивной мощности различны: с помощью синхронных компенсаторов, конденсаторных установок, шунтирующих реакторов, фильтрами высших гармоник, статическими тиристорными компенсаторами.

Применение современных устройств компенсации реактивной мощности позволяет уменьшить объем потребляемой реактивной мощности и обеспечить необходимое качество электрической энергии для потребителей.

С помощью применения компенсирующих устройств также можно решить следующие задачи:

- оптимизировать перетоки индуктивной (реактивной) мощности в высоковольтных сетях;
- значительно уменьшить потери мощности и энергии;
- обеспечить поддержание статической и динамической устойчивости в узлах повышенной нагрузки.

Список использованных источников

1. Воротницкий В.Э., Рабинович М.А., Каковский С.К. Оптимизация режимов электрических сетей 220-750 кВ по реактивной мощности и уровням напряжения.// Энергия единой сети, 2013, №3(8), стр. 50-59.
2. Горожанкин П.А., Майоров А.В., Макаровский С.Н., Рубцов А.А. Управление напряжением и реактивной мощностью в электроэнергетических системах. Европейский опыт.// Электрические станции, 2008. №6, стр.40-47.
3. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Единой национальной электрической сети/ Бударгин О.М., Бердников Р.Н., Шимко М.Б., Перстнев П.А., Воротницкий В.Э., Красноярск, ИПК «Платина», 2015. 168с.
4. Методические указания по проведению расчетов для выбора типа, параметров и мест установки устройств компенсации реактивной мощности в ЕНЭС (СТО 56947 007-29.180.02.140-2012, введен в действие 20.12.2012, согласован с ОАО «СО ЕЭС»).

5. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ.
6. Кондратенко, Д. В. Статический компенсатор реактивной мощности на базе УШР как необходимое средство повышения энергоэффективности в электроэнергетике / Д. В. Кондратенко, Т. А. Шиваева, А. В. Виштибеев // Электро. - 2010. - №2. - С. 43-48.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Е.А.Набоков, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв

В настоящее время потребителей электроэнергии в первую очередь интересует, как скажется некачественная электроэнергия на технико-экономических показателях работы предприятия и системы электроснабжения. Физической основой для установления допустимых нормальных и предельных кратковременных значений основных показателей качества электрической энергии (КЭ) является интегральная реакция приемников электрической энергии и элементов систем электроснабжения на изменение частоты сети, а также на изменения амплитуды и формы кривой напряжения с учетом их характеристики и длительности.

Существующий рынок решений по улучшению качества электрической энергии базируется на старой системе норм проектирования по защите предприятий от 2—3 отключений электроэнергии в год, хотя в разных регионах в настоящее время их происходит от 10 до 40 [3].

Проблема, связанная с воздействием кратковременных нарушений электроснабжения (КНЭ) на работу потребителей электрической энергии, становится все более острой во всех странах по мере усложнения технологических процессов предприятий и использования средств автоматизации. «Сегодня уровень износа оборудования в электроэнергетике составляет 70—80 %» и «реформа электроэнергетики не дает возможности предприятиям чувствовать уверенность в завтрашнем дне» [6].

Введение

В последние годы проблема качества электроснабжения становится все более актуальной из-за увеличения числа приемников, чувствительных к кратковременным нарушениям электроснабжения, искажению формы кривой как питающего напряжения, так и тока [2, 4]. 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 [2].

Проблема динамической компенсации искажения напряжения является одной из общего пула проблем улучшения качества напряжения, но одной из самых актуальных, так как экономический ущерб от искажения форм кривых и тока не менее значителен, чем от перерыва в электроснабжении потребителей.

Цель работы

Целью данной работы является анализ проблемы качества электроэнергии, в первую очередь искажения напряжения. Динамическая компенсация искажений напряжения позволяет оперативно реагировать на ухудшение качества напряжения и улучшать качество электроэнергии в режиме реального времени.

Проблема качества электроэнергии в современных электросетях

В последние десятилетия растет количество электрических нагрузок, ухудшающих качество электроэнергии в промышленных сетях и системах общего назначения.

Внедренный ГОСТ 13109—97, руководящие документы по КЭ [11] 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.

Сейчас на рынке появились полностью управляемые вентили типа IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором), GTO (запираемый тиристор) и IGCT (запираемый тиристор с интегрированным блоком управления), которые сделали возможным производство преобразователей напряжения, способных повышать качество электроэнергии.

Основными причинами нарушения надежности электроснабжения потребителей являются короткие замыкания (КЗ) в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения. Провалы напряжения у потребителей настолько же неизбежны, насколько неизбежны короткие замыкания в сетях, число которых растет по мере старения и изношенности электрооборудования, поэтому следует ожидать лишь увеличения частоты возникновения провалов напряжения [6].

Кроме того, из-за значительной протяженности воздушные линии электропередачи (ВЛ) подвержены всем видам атмосферных воздействий (ветра, гроз, гололеда), которые являются причинами различных видов возмущений сетевого напряжения (вплоть до полного прекращения подачи электроэнергии). Длительность и характер возмущений зависят от структуры энергосистемы и времени работы релейной защиты и автоматики (РЗА) [4, 7-11]. Статистика свидетельствует, что провалы напряжения глубиной более 50% составляют лишь 10% общего их числа; более 80 % провалов длятся десятые доли секунды [2].

Поскольку ГОСТ 13109 - 97 [11] не нормирует параметры провалов (величину, длительность, частоту появления), то электроснабжающие организации не несут даже формальной ответственности за их появление.

Статистика нарушений электроснабжения

Анализ аварийных нарушений электроснабжения предприятия, приведших к остановам основных производств и связанных с возмущениями, возникающими в энергосистемах Единой национальной энергетической системы (ЕНЭС), свидетельствует о резком снижении показателей надежности энергосистем сетевых предприятий. На основании этого анализа можно сделать следующие выводы:

- на ВЛ 110(220) кВ имеют место частые кратковременные нарушения электроснабжения, что свидетельствует об изношенности основного оборудования и релейной защиты линий электропередачи (ЛЭП) и об отсутствии независимых источников электроснабжения для предприятий;

- сильное воздействие на технологический процесс оказывает КНЭ на шинах 0,4 кВ, что требует внедрения ДКИН для обеспечения непрерывности технологического процесса и снижения ущерба от недовыпуска продукции;

- частые кратковременные нарушения электроснабжения на отдельных ВЛ приводят к провалам напряжения длительностью 0,16-0,25 с, которые в условиях существующего автоматического ввода резерва (АВР) не позволяют оперативно переключиться на соседнюю секцию, что вызывает более глубокое снижение напряжения и останов основных агрегатов напряжением ниже 1 кВ.

- внедрение быстродействующих АВР (БАВР) на секционном выключателе со временем перерыва $\Delta t_{\text{пер}} \leq 0,12$ с улучшит ситуацию с КНЭ;

- внедрение динамических компенсаторов искажений напряжения позволит не только исключить влияние провалов напряжения на работу всей электродвигательной нагрузки, но и компенсировать все виды обратной связи от любого потребителя, т.е. осуществлять компенсацию реактивной мощности, устранять все виды искажений в трехфазной сети, обеспечивать направленную компенсацию гармоник и устранять резонансы.

Очевидно, что основное влияние на работу электроприемников на предприятиях оказывают именно кратковременные, сравнительно неглубокие провалы напряжения.

Классификация устройств защиты от провалов напряжения

Рассмотрим различные системы, защищающие промышленное производство от провалов напряжения - маховик, статический источник бесперебойного питания (ИБП), динамический компенсатор искажений напряжения, статический компенсатор (СТАТКОМ), параллельно соединенный СД, повышающий преобразователь, активный фильтр и бестрансформаторный последовательный усилитель.

Провалы напряжения являются одним из наиболее дорогостоящих явлений в промышленности. Самый легкий способ защитить чувствительные процессы от всех провалов - это установка ИБП. Однако из-за большой стоимости их закупки и обслуживания ИБП устанавливают только на основных структурных объектах, в местах, где повреждения, вызванные проблемами с электропитанием, могут причинить значительные повреждения, например в больницах, при производстве компьютеров, в финансовых учреждениях [2].

При решении вопроса об установке защитного оборудования должен быть проведен технико-экономический расчет, показывающий обоснованность установки ИБП для того или иного производственного процесса. Проблема защиты электродвигателей с различными скоростями в промышленном производстве от провалов напряжения на данный момент решена.

Из-за широкого разнообразия торговых марок таких систем найти оптимальное технико-экономическое решение этой проблемы не очень просто.

Компенсация глубоких провалов напряжения

Частота возникновения провалов напряжения различна для каждой части электрической сети. Существуют три различных подхода к увеличению устойчивости против провалов напряжения.

А. Нагрузка поддерживается внешним источником питания. Такие системы (маховик, статический ИБП) могут защитить от всех провалов напряжения.

Продолжительность максимального времени защиты зависит только от количества запасаемой электроэнергии.

Б. Поднятие напряжения на определенной процент. Эти системы (СТАТКОМ и ДКИН) используют оставшееся напряжение в сети как начальный уровень, к которому

добавляют недостающую часть напряжения. Если они не могут восстановить напряжение, то они достигли своих максимальных способностей по восстановлению. Провал напряжения будет считаться восстановленным, если конечное напряжение (напряжение сети в течение провала плюс добавочное напряжение) будет достаточно высоким, чтобы обеспечить нормальную работу нагрузки.

В. Нагрузка питается от сети, даже в течение провала. Чтобы сохранить постоянное питание нагрузки системы этого типа (активный фильтр, повышающий конвертор и бестрансформаторная надбавка напряжения), компенсируют уменьшенное значение напряжения, пропуская более высокий ток через сеть. Поэтому максимальное значение провала, который может быть компенсирован, зависит от номинального тока системы.

Оборудование из категории Б поднимает напряжение на определенный процент. Если процесс не чувствителен к провалам ΔU_n (%), он может быть оснащен защитным оборудованием из категории Б, таким как ДКИН, имеющим способность повышать напряжение на ΔU (%), тогда общая нечувствительность процесса к провалам напряжения будет равной $-\Delta U_n + \Delta U$ (%).

С другой стороны, оборудование из категории В защищает процесс против провалов напряжения на определенный уровень. При установке оборудования из категории В процент уменьшенных остановок электрооборудования снизится, если начальная невосприимчивость процесса составит 30 % по сравнению с начальной защищенностью 10%.

Начиная с решения о закупке исправляющего оборудования для предотвращения повреждений, вызванных провалом напряжения, стоимость закупки системы будет являться достаточно важным фактором.

Динамические компенсаторы искажений напряжения как надежное устройство защиты электрооборудования от КНЭ

Основные цели устройства ДКИН [3, 4]:

- устранение несимметрии по фазам и несинусоидальности в нормальном режиме работы;
- обеспечение надежного и непрерывного электроснабжения потребителей за счет IGBT-преобразователя напряжения и вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) в случае аварийных и ненормальных режимов в электрических сетях (рис. 1).

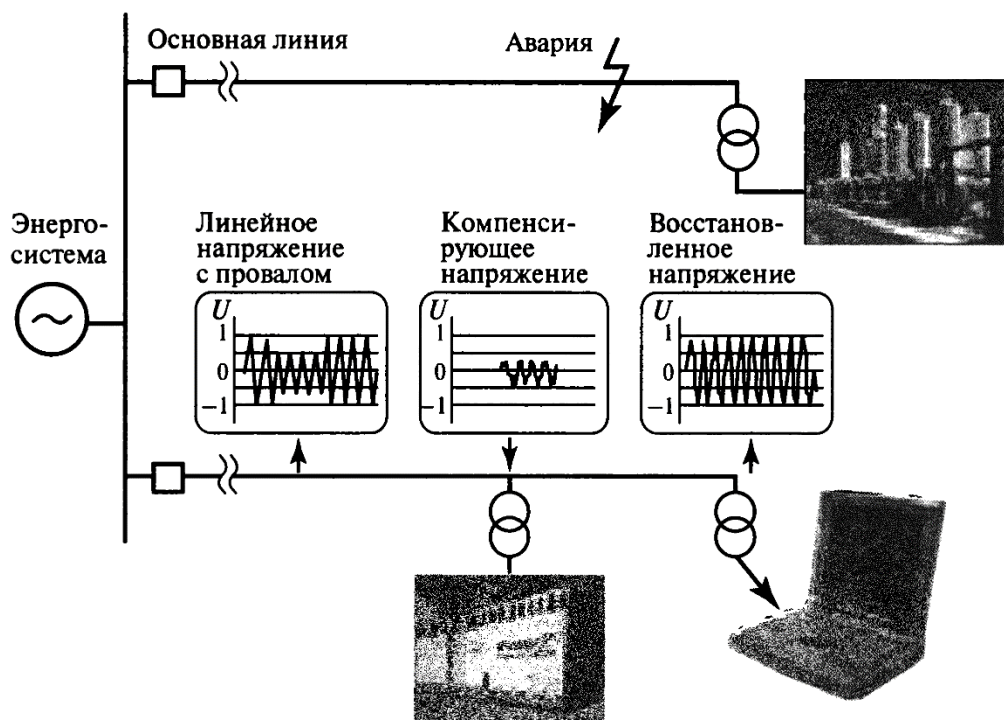


Рисунок 1 Диаграмма работы ДКИН при нарушениях электроснабжения

Принцип работы и достоинства динамических компенсаторов искажений напряжения

Динамические компенсаторы искажений напряжения представляют собой устройство с двухкратным преобразованием напряжения, вход которого подключен к системе электроснабжения (рис. 2).

Через управляемый выпрямитель напряжение подается на конденсаторы C_d . Выход ДКИН через управляемый инвертор на базе ПУВ и через вольтодобавочный трансформатор подключен к нагрузке. Вторичная обмотка ВДТ включена последовательно с нагрузкой, и в ней наводится напряжение dU_B , компенсирующее провал напряжения в системе электроснабжения (СЭС) [3, 4].

Система управления непрерывно контролирует напряжение поставки (U_c) и сравнивает его с заданным пороговым уровнем напряжения (рис. 2). Если напряжение поставки меньше заданного значения, преобразователь источника напряжения немедленно начинает вводить дифференциальное напряжение и поддерживать номинальное напряжение на стороне нагрузки U_n .

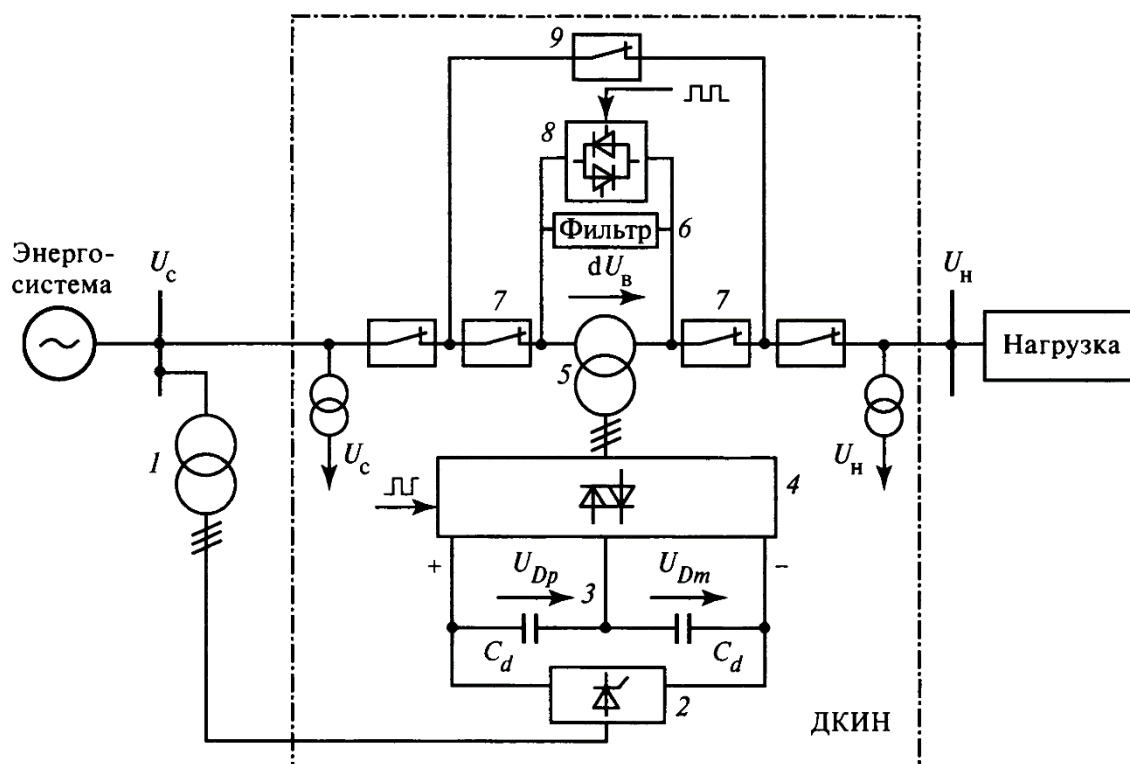


Рисунок 2 Функциональная схема работы устройства ДКИН:

- 1 - согласующий трансформатор; 2 - выпрямитель;
 3 - батарея конденсаторов; 4 - инвертор; 5 - вольтодобавочный трансформатор;
 6 - фильтр гармонический; 7 - выключатель;
 8 - защитная цепь ДКИН; 9 - байпасный выключатель;

Динамический компенсатор искажения напряжения предназначен для того, чтобы компенсировать влияние провалов напряжения на линиях, электроснабжающих чувствительное к искажениям оборудование. Нормальное электроснабжение осуществляется и при провалах напряжения в питающей системе электроснабжения в связи с тем, что ДКИН регулирует напряжение на нагрузке, приближая его к номинальному значению и устраняя КНЭ от энергосистемы.

Динамический компенсатор искажений напряжения обеспечивает:

- полное восстановление трехфазных провалов напряжения до номинального уровня или указанного для специфической модели с поддержанием заданного значения в течение 200 мс при провалах напряжения глубиной до 100 % номинального;
- исправление симметричных трехфазных падений напряжения глубиной до 50 % и однофазных провалов глубиной до 35 % до уровня, определенного спецификой модели, с поддержанием заданного значения в течение 30 с;
- непрерывное регулирование трехфазного провала напряжения и провалов вплоть до 90 % номинального. Возможен выбор для более глубоких продолжающихся провалов;
- непрерывное регулирование трехфазных перенапряжений и скачков вплоть до 110 % номинального напряжения (для расширенной модели ДКИН);
- исправление несимметрии напряжения со стороны сети;
- ослабление дозы фликера в напряжении;

- автоматическую компенсацию линейных падений напряжения до нагрузки.

Таким образом, ДКИН обеспечивает потребителю высокое качество напряжения, защищает нагрузку от большинства обычных искажений напряжения.

Динамический компенсатор искажений напряжения контролирует поступающее напряжение и, когда оно отклоняется от номинального, формирует соответствующее напряжение компенсации, используя IGBT-инвертор и последовательные реакторы.

Динамический компенсатор искажений напряжения предназначен для того, чтобы смягчить провалы напряжения на линиях, питающих чувствительное оборудование.

Выводы

1. Существующий подход к решению проблем качества электрической энергии сосредоточен на старой системе взглядов по защите предприятий от 2—3 отключений электроэнергии в год, а не 20—30, как имеет место сейчас.

2. Анализ нарушений электроснабжения, происшедших на предприятиях и приведших к остановам основных производств, показал, что главными причинами нарушений являются кратковременные (длительностью 20—120 мс) посадки и провалы напряжений в энергосистемах. Так как ситуация не изменится в лучшую сторону в ближайшие 5 лет, то предприятиям надо самим решать эти проблемы. Для предприятий имеют место остановки производства и ущерб, связанный с низким качеством электроэнергии, отключением синхронных и асинхронных двигателей, преобразователей частоты, контакторов, пускателей, систем микропроцессорного управления и т.п.

3. Для обеспечения непрерывности технологического процесса, снижения ущербов от брака продукции предлагается внедрить динамические компенсаторы искажений напряжения, питающих потребителей основных производств. Это обеспечит непрерывную работу основных механизмов в режимах кратковременных нарушений электроснабжения, даст снижение потерь и потребления электрической энергии, улучшение режимов работы СД и АД.

4. Назначение динамических компенсаторов искажений напряжения заключается в следующем:

- обеспечении надежного и непрерывного электроснабжения потребителей за счет IGBT-, IGCT-преобразователей напряжения и вольтодобавочных трансформаторов в случае провалов и посадок напряжений в электрических сетях длительностью до 3 с;
- фильтрации гармонических составляющих в питающем напряжении;
- устранении несимметрии по фазам питающего напряжения в нормальных и аварийных режимах.

5. Областью применения ДКИН являются как распределительные устройства напряжением 0,4—6—10—35 кВ, имеющие двигательную и технологическую нагрузку, так и отдельные приемники электрической энергии, системы управления, высокочувствительные к КНЭ.

Динамические компенсаторы искажений напряжения выпускаются на входное напряжение 380; 480; 690 В; 6; 10; 13,8; 35; 38,5; ПО; 150 кВ или нестандартное напряжение. Выпускаемые устройства ДКИН напряжением 380 В по мощности охватывают все существующие трансформаторные подстанции (от 25 до 6000 кВА), а напряжением 6 (10) кВ — существующие в России распределительные устройства с учетом фактического коэффициента их загрузки (от 1000 до 50 000 кВА).

Список использованных источников

1. Гуревич Ю.Е. Об упорядочении взаимоотношений энергоснабжающих организаций и промышленных потребителей в области надежности электроснабжения // Электрические станции. 1998. № 9. С. 31—35.
2. Пупин В.М. Устройство защиты от провалов напряжения. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2011. – 100 с.: ил.
3. Применение динамических компенсаторов искажений напряжения с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей / О.Н. Ивкин, Э.А. Киреева, В.М. Пупин, Д.В. Маркитанов // Главный энергетик. 2006. № 1. С. 28—38.
4. Куро Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении // Новости электротехники. 2005. № 1 (31). С. 22—26; № 2 (32). С. 26—30.
5. Абрамович Б.Н., Гулько в Ю.В., Волошкин М.М. Электромагнитная совместимость оборудования на предприятиях по транспортировке и переработке нефти и газа при наличии источников высших гармонических // Энергетика в нефтегазодобыче. 2005. № 1. С. 23—26.
6. Новости энергетики // Главный энергетик. 2005. № 11. С. 14—15.
7. Берх И.М., Мазуров М.И., Николаев А.В. Система векторного регулирования статического компенсатора СТАТКОМ // Изв. НИИПТ. 2003. № 59. С. 89—95.
8. Кузнецов В.Г., Шидловский А.К. Фильтросимметрирующие устройства для повышения качества электроэнергии в сетях // Электричество. 1976. № 2. С. 27—32.
9. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. Киев: Наукова думка, 1985.
10. Железко Ю.С. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение // Промышленная энергетика. 1991. № 8. С. 39-42.
11. ГОСТ 13109—97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1998.

УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ УЗЛОВ НАГРУЗКИ

А.А. Романченко, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв

Нагрузка относится к группе силовых элементов электроэнергетической системы. Ее технологические характеристики оказывают непосредственное влияние на режимы энергосистем, в том числе и на устойчивость параллельной работы генераторов электростанций. Однако, поскольку нагрузку в значительной мере составляют синхронные и асинхронные электродвигатели, вопрос об устойчивости параллельной работы касается и самой нагрузки.

Относительно синхронных электродвигателей потеря устойчивости означает нарушение их синхронной работы (выпадение из синхронизма) в виде перехода в асинхронный режим. Для асинхронных электродвигателей следствием потери устойчивости является их останов.

Для статических элементов нагрузки, таких как осветительные элементы, батареи статических конденсаторов, шунтирующие реакторы и т.п., вопрос об устойчивости параллельной работы рассматривается лишь в смысле их влияние на устойчивость электродвигателей и энергосистемы в целом.

При анализе статической устойчивости электродвигателей и генераторов важно правильно выбрать математические модели нагрузки.

Как правило, в практических расчётах статической устойчивости работы электрических машин нагрузку учитывают в виде статистических характеристик активной и реактивной мощностей по напряжению и частоте.

В статье рассмотрены статические характеристики и критерии устойчивости комплексных узлов нагрузки, позволяющие определить их влияние на устойчивость энергосистемы в целом, а также мероприятия для повышения устойчивости.

Введение

При расчетах устойчивости СЭС в зависимости от особенностей решаемой задачи нагрузки могут представляться в схемах замещения различными расчетными моделями. Полнота математического описания электрической нагрузки оказывает существенное влияние на результаты расчетов электромеханических переходных процессов. При определении полноты учета нагрузки исходят из необходимости обеспечения требуемой точности конечных результатов, стремления сократить объемы исходной информации и вычислений.

Цель работы

Целью данной работы является анализ устойчивости комплексных узлов нагрузки при малых и больших возмущениях в энергосистеме и их влияние на устойчивость энергосистемы в целом.

Статические и комплексные узлы нагрузки

На режим электропотребления и на устойчивость узлов нагрузки СЭС оказывают влияние состав электроприемников и их параметры. Наиболее широкое распространение в СЭС получили следующие характерные группы электроприемников:

1. Силовые общепромышленные установки.
2. Электродвигатели производственных механизмов.
3. Электрические осветительные установки.
4. Преобразовательные установки.
5. Электротехнологические установки.

В практике исследования электромеханических переходных процессов используют комплексные расчетные модели нагрузки, которые описывают простейшую одноузловую схему (рис. 1).

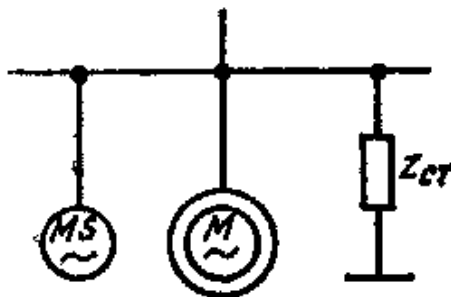


Рисунок 1. Состав простейшего узла нагрузки

Эти модели позволяют воспроизвести основные особенности переходных процессов в электродвигателях и учесть влияние других электроприемников. **Комплексные расчетные модели** нагрузки включают в себя уравнения эквивалентных асинхронного и синхронного двигателей, а также статической нагрузки [1].

Под **статической нагрузкой** $Z_{ст}$ понимают нагрузку, создаваемую электроприёмниками, в которых отсутствует вращающееся магнитное поле: электрическое освещение, электропечи и другие электротехнологические установки, а также коммунально-бытовые приборы. К статической нагрузке относятся также конденсаторные батареи, емкость ВЛ и КЛ, индуктивные и активные сопротивления элементов сети, которые создают потери в сопротивлениях, потери на намагничивание трансформаторов, рассеяние и др. Значение $Z_{ст}$ в общем случае зависит от напряжения.

Что касается двигательной нагрузки, то она математически описывается по-разному в зависимости от числа электродвигателей, входящих в состав узла нагрузки :

1) в узлах нагрузки с малым числом электродвигателей каждый из них учитывается своими уравнениями и параметрами движения и непосредственно вводится в расчет:

2) в узлах нагрузки, включающих в себя группы различных электродвигателей, относящихся к одному производству, группы заменяются небольшим числом эквивалентных электродвигателей с параметрами, которые рассчитываются по определенным правилам на основании данных о реальных двигателях;

3) крупные узлы нагрузки описываются с использованием ряд конкретных данных о составе нагрузки и параметрах питающей сети, а также исходной информации, полученной в результате вероятностно-статистического анализа.

При упрощениях уравнения движения электродвигателей, используемые при описании крупных узлов нагрузки, могут отличаться от уравнений, по которым рассчитываются электромеханические переходные процессы в одиночных электродвигателях. Однако это не вносит существенных погрешностей в конечные результаты инженерных расчетов устойчивости нагрузки СЭС.

Для повышения точности расчетов за счет более детального учета всех основных особенностей потребителей и распределительной сети применяют многоэлементные комплексные модели. В зависимости от поставленной задачи и структуры нагрузки расчетная схема нагрузки может содержать различное число узлов, электродвигателей и других потребителей. Чем меньше протяженность распределительной сети и чем больше однородность нагрузки, тем проще ее расчетная модель.

В соответствии с общим определением понятия статическая характеристика элемента под **статическими характеристиками нагрузки** понимают зависимости ее активной и реактивной мощностей по напряжению и частоте, получаемые при настолько медленном изменении этих параметров, что можно не учитывать влияние факторов времени.

В некоторых случаях рассматривают зависимость активной или реактивной мощности нагрузки совместно по напряжению и частоте, однако, как правило, каждая статическая характеристика нагрузки рассматривается как функция одной переменной, то есть:

$$P_{HU}=\varphi_P(P), Q_{HU}=\varphi_Q(Q) \text{ при } f=\text{const}; \quad (1.1)$$

$$P_{Hf}=\varphi_P(f), Q_{Hf}=\varphi_Q(f) \text{ при } U=\text{const}; \quad (1.2)$$

Различают статические характеристики отдельных элементов и комплексной нагрузки в целом. При этом под комплексной понимают сложную нагрузку, состоящую из множества элементов и имеющую один узел подключения к питающей электрической сети [2].

В крупных нагрузочных узлах подключена, как правило, нагрузка нескольких видов, таких как осветительная, синхронная, асинхронная, электронагревательная и др. Вместе с потерями мощности в электрической сети такая **нагрузка называется комплексной**.

Статические характеристики комплексных узлов нагрузки по напряжению и частоте

При расчетах комплексная нагрузка представляется разными способами, в том числе и статическими характеристиками. Количественные показатели статических характеристик комплексных нагрузок зависят от содержания элементарных нагрузок. Поэтому в практических расчетах часто используют типовые (усредненные) статические характеристики (рис. 2), построенные для типового(усредненного) состава комплексной нагрузки.

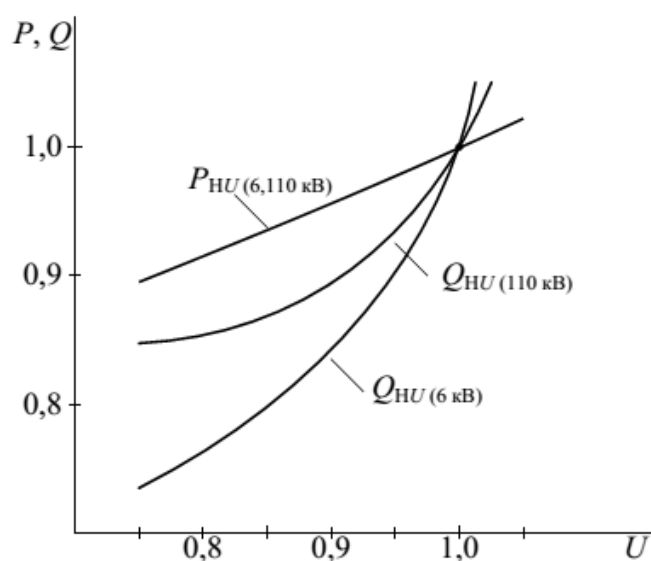


Рисунок 2. Типовые статические характеристики комплексной нагрузки по напряжению

В этом составе учтены:

- 1) Крупные асинхронные двигатели - 15 %
- 2) Мелкие асинхронные двигатели - 35 %
- 3) Крупные синхронные двигатели - 9 %
- 4) Печи и выпрямители - 11 %
- 5) Освещение и быт - 22 %
- 6) Потери - 8 %

Эти типовые статические характеристики построены для комплексной нагрузки, подключенной к линиям 110 кВ и 6 кВ.

Зависимость мощности от частоты была отмечена для люминесцентных ламп, реакторов и батарей статических конденсаторов. У других видов нагрузки также имеется зависимость мощности от частоты.

Наиболее распространенными факторами, определяющими эту зависимость, являются такие, как изменение реактивных сопротивлений элементов, изменение синхронной ЭДС E_q у синхронных двигателей и синхронных компенсаторов, изменение механического момента и, соответственно, механической мощности $P_{\text{мех}}$ приводимых в движение механизмов от частоты и некоторые другие.

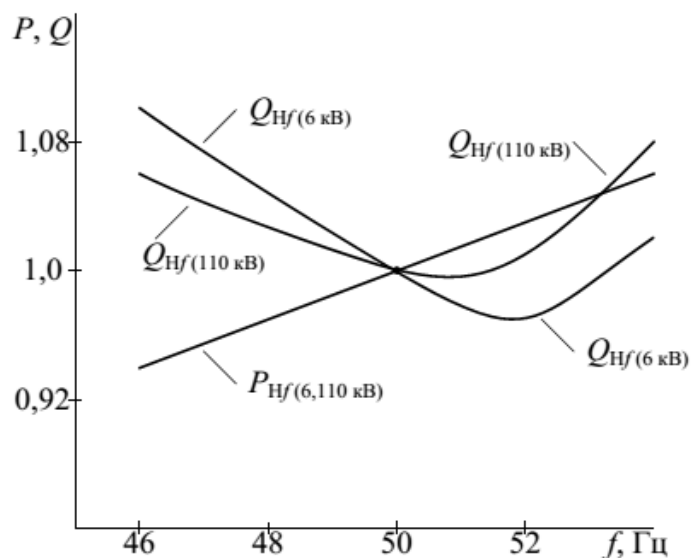


Рисунок 3. Типовые статические характеристики комплексной нагрузки по частоте

В силу многообразия и сложности учета влияющих факторов наиболее достоверными являются статические характеристики, снятые экспериментально. В практических расчетах часто используют типовые статические характеристики по частоте (рис. 3), построенные для указанного выше усредненного состава комплексной нагрузки.

Критерии устойчивости комплексных узлов нагрузки

Из вторичных признаков устойчивости нагрузки, основанных на статических характеристиках и не требующих эквивалентирования исследуемых на устойчивость асинхронных двигателей, рассмотрим два наиболее употребительных.

Первым рассмотрим признак :

$$\frac{dE}{dU} \geq 0 \quad (1.3)$$

где буквой E обозначена ЭДС (напряжение) источника питания.

Статические характеристики P_{HU} , Q_{HU} являются функциями напряжения U в узле подключения нагрузки (рис. 4). Элементы сети, связывающие источник питания с нагрузочным узлом, представлены в схеме замещения эквивалентным сопротивлением $Z = r + jx$.

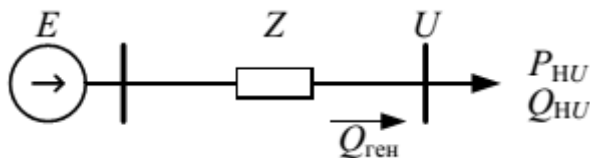


Рисунок 4. Схема для иллюстрации вторичных признаков устойчивости нагрузки

Для определения критического напряжения по условию dE/dU строится расчетная зависимость $E(U)$ с учетом статических характеристик нагрузки (рис. 5).

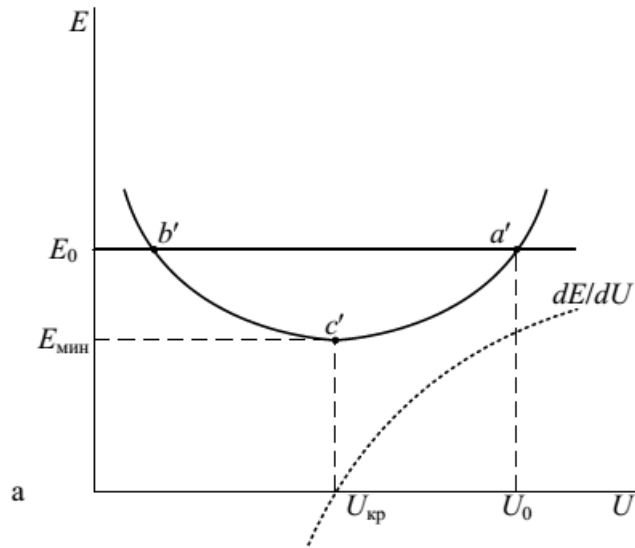


Рисунок 5. К определению вторичного признака $dE/dU \geq 0$ статической устойчивости комплексной нагрузки

Другим вторичным признаком статической устойчивости нагрузки, часто используемым в практике расчетов, является условие :

$$\frac{d\Delta Q}{dU} \leq 0 \quad (1.4)$$

где $\Delta Q = Q_{\text{ген}U} - Q_{\text{н}U}$

Зависимость $Q_{\text{н}U}$ представляет собой статическую характеристику комплексной нагрузки. Реактивная мощность $Q_{\text{ген}U}$ – мощность генерации, подтекающая к нагрузочному узлу со стороны источника питания (рис. 4).

При анализе статической устойчивости комплексной нагрузки имеется в виду устойчивость асинхронных двигателей в составе этой нагрузки. Вычисленное по вторичным признакам критическое напряжение не является и не может быть критическим для всех асинхронных двигателей. Оно является лишь некоторым средним значением зоны опасных, в смысле устойчивости, значений напряжения.

Эта неопределенность, в числе других неопределенностей, учитывается «Руководящими указаниями по устойчивости энергосистем» [3] в виде регламентированных значений коэффициента запаса устойчивости по напряжению, определяемому как :

$$k = \frac{U - U_{\text{кр}}}{U} \quad (1.5)$$

где $U_{\text{кр}}$ длительно поддерживаемое напряжение в узловой точке системы.

Основной задачей противоаварийных мероприятий в энергосистеме является снижение интенсивности и длительности КНЭ [4].

Непосредственно на предприятиях задачами противоаварийных мероприятий являются снижение чувствительности промышленного электрооборудования к КНЭ и уменьшение интенсивности КНЭ.

Задачи противоаварийных мероприятий в энергосистеме и на предприятиях взаимосвязаны, и их следует рассматривать комплексно.

Многие из мероприятий предусматриваются ещё на этапе проектирования, однако значительных результатов можно добиться и в процессе эксплуатации.

Для реализации противоаварийных мероприятий необходимо, как правило, технико-экономическое обоснование, поскольку во многих случаях обнаруживается возможность достижения одних и тех же целей различными средствами [5].

Противоаварийные мероприятия в энергосистеме:

1. Замена упрощенных подстанций (на отпайках или на отделителях с короткозамыкателями) на подстанции с полным комплектом выключателей.
2. Локализация зоны глубоких снижений напряжения при КЗ с помощью статических тиристорных компенсаторов и других устройств подобного типа.
3. Выбор оперативной схемы внешнего электроснабжения предприятий (замкнутые, разомкнутые, смешанные) с учётом снижения интенсивности и длительности КНЭ.
4. Применение ОАПВ в распределительных сетях.
5. Координация уставок (по времени) релейных защит с целью уменьшения количества длительных КЗ в распределительных сетях.
6. Выбор оптимального соотношения между источниками реактивной мощности (конденсаторные батареи, статические тиристорные компенсаторы, синхронные двигатели, синхронные компенсаторы и др.), обеспечивающего статическую и динамическую устойчивость нагрузки при расчётных возмущениях.
7. Превентивное (опережающее) деление системы при опасности возникновения асинхронного хода в энергосистеме. Здесь нужно проанализировать и решить: делить систему до появления асинхронного хода или после.

Выводы

Малые возмущения в действующей энергосистеме присутствуют непрерывно. Существование этих возмущений связано с непрерывным изменением нагрузки, действием регулирующих устройств, температурными изменениями активных сопротивлений элементов системы и с другими причинами. Поэтому строго неизменного режима системы не существует и, говоря об установившемся режиме, в сущности имеют в виду режим малых возмущений. При этом предполагают, что малые возмущения и связанные с ними непрерывные процессы происходят около некоторого равновесного состояния системы.

Большими возмущениями считают начальные отклонения параметров режима, вызванные какими-либо резкими изменениями в электроэнергетической системе, то есть интенсивными возмущающими воздействиями: короткими замыканиями, коммутационными переключениями в электрической сети и другими причинами.

Устойчивость параллельной работы элементов энергосистемы должна сохраняться при малых и больших возмущениях в электроэнергетической системе. Поэтому вопрос влияния устойчивости комплексных узлов нагрузки на энергосистему в целом приобретает всё более актуальное значение.

Список использованных источников

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 536 с.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.
3. Руководящие указания по устойчивости энергосистем. Минэнерго СССР. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1984. – 11 с.
4. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчёты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
5. Портной М.Г. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. – М.: Энергия, 1978. – 352с.

ПОИСК ПОВРЕЖДЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 КВ

Д.В.Сулим, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв

Современное состояние силового электрооборудования в России характеризуется в основном длительным сроком эксплуатации, значительно превышающим нормативные величины.

Это обстоятельство, естественно, предполагает большой износ этого электрооборудования, но, как показывает практика, это предположение не является безусловным и обоснованным. Здесь прежде всего следует иметь в виду, что нормативные сроки эксплуатации силового электрооборудования, гарантированные производителями, значительно отличаются от фактических сроков службы в меньшую сторону. Кроме того, реальные сроки безопасной эксплуатации электрооборудования во многом зависят от качества используемых элементов конструкций, соблюдения технологии производства монтажных работ и условий его эксплуатации.

Эксплуатация сверх нормативного срока возможна при наличии позитивной информации о действительном техническом состоянии силового электрооборудования. Отсутствие подробной и объективной информации о техническом состоянии позволяет реализовать эксплуатацию электрооборудования только по наработке на отказ либо плановое техническое обслуживание в соответствии с нормативами ППР.

Практика показала, что такая эксплуатация силового электрооборудования ведет к большим производственным потерям и необоснованному распылению средств на его техническое обслуживание и ремонт. Следовательно, планы планово-предупредительного ремонта силового электрооборудования, продление сроков эксплуатации необходимо реализовывать в соответствии с его действительным техническим состоянием.

Введение

Объективные данные о техническом состоянии электрооборудования можно получить современными диагностическими методами. Диагностические испытания электрооборудования, как правило, выполняются методами, не травмирующими изоляцию. Они позволяют определять не только техническое состояние объекта, но и локализовать имеющиеся проблемные места. Проведение комплексных диагностических испытаний различными методами неразрушающего контроля позволяет оценить степень старения изоляции и остаточный ресурс электрооборудования.

Техническое состояние изоляции электрооборудования можно определить следующими способами:

- испытание повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативами;
- единовременное испытание диагностическими методами (диагностика).

В первом случае мы не получаем достоверной информации о реальном техническом состоянии электрооборудования, второй способ позволяет получить полную картину фактического технического состояния.

Контроль над изменениями технического состояния электрооборудования во времени обеспечивается следующими методами:

- периодическое испытание диагностическими методами с целью определения динамики процессов старения или развития дефектов (тренд);
- «непрерывный» контроль технического состояния, позволяющий контролировать процессы в изоляции в каждый момент времени (мониторинг).

В соответствии с действующими в России правилами и руководящими документами (нормативами) изоляция высоковольтного оборудования и кабелей должна периодически подвергаться испытаниям повышенным постоянным напряжением.

Из практики эксплуатации высоковольтных кабельных линий известно, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением вовсе не гарантируют безаварийную последующую работу электрооборудования.

Цель работы

Целью данной работы является анализ современных методов поиска повреждений в кабельных электросетях напряжением 6-10 кВ. Вследствие разнообразия видов и характера повреждений, а также структуры и условий работы электрических сетей не удаётся получить какой-либо универсальный метод ОМП. Только при рассмотрении совокупности методов и средств ОМП как системы с единой структурой для всех типов линий и сетей при любом характере повреждений возможна полная картина повреждения кабельных трасс.

Анализ состояния кабельных линий в России

Последние десять лет в России и за рубежом ведутся интенсивные работы по совершенствованию неразрушающих методов диагностики изоляции и выпуску предназначенной для этого аппаратуры. Эти методы ориентированы на диагностические испытания, не разрушающие изоляцию электрооборудования и позволяющие выполнять локализацию проблемных мест на ранней стадии развития дефектов в изоляции.

К числу недостатков диагностических методов испытаний изоляции следует отнести высокую стоимость диагностической аппаратуры и требующую наличия высококвалифицированного персонала, большую сложность методов диагностики. Однако эти недостатки перестают иметь место при производстве диагностических испытаний силами специализированных предприятий, имеющих персонал высокой квалификации. В этом случае предприятие-заказчик не несет затрат на приобретение диагностического оборудования и не содержит специалистов для работы с ним. Периодическая диагностика или тренд обладает теми же характеристиками.

Непрерывная диагностика (мониторинг) с точки зрения объема получаемых данных является наиболее информативной. Перспективным является мониторинг особо важных объектов энергетики, имеющих большую установленную мощность и соответственно стоимость. Вместе с тем повсеместное внедрение мониторинга является экономически и практически нецелесообразным.

Важным вопросом является оценка результатов диагностики OWTS и формулирование заключения. Для этого необходимо иметь критерии оценки по уровню ЧР, частоте и интенсивности. Следует отметить, что в Европе в фирмах, эксплуатирующих подобные установки, имеются методики и соответственно критерии по оценке результатов диагностики. Однако применение этих методик и критериев в России пока представляется нецелесообразным.

Так, например, в Германии для аппаратуры OWTS предельным значением принят уровень частичных разрядов, равный 1000 пК, а в Италии – 1200 пК. Уровни разрядов, превышающие указанные значения, недопустимы, а кабельная линия подлежит ремонту. Имеющиеся в этих странах критерии диагностики разбиты на ряд групп, а методики на основе созданных баз данных позволяют определить вид или причину дефекта. За счет совершенствования технологии монтажа кабельных линий, достигается впоследствии устранение причин, вызывающих те или иные дефекты. В среднем количество дефектных кабельных линий (с уровнем разрядов более 1200 пК) в Германии и Италии составляет около 50%.

Для России характерным является эксплуатация силовых кабельных линий до предельного физического состояния, при этом уровень ЧР в них нередко составляет более 10000 пК. Количество кабельных линий, имеющих дефекты с уровнем ЧР около 5000 пК, составляет более 65%. Выполнить замену дефектных кабельных линий на новые линии за короткий срок практически невозможно и экономически нецелесообразно.

На рисунке 1 приведены результаты диагностики кабельных линий в течение года по России. Это обобщенные данные. На отдельных предприятиях количество кабельных линий с неудовлетворительным техническим состоянием более 80%.

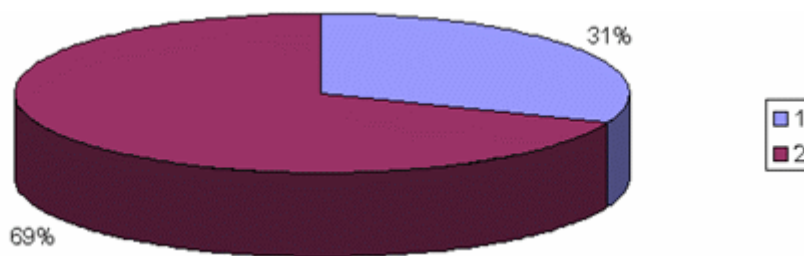


Рисунок 1. Статистика технического состояния силовых кабельных линий 6-35 кВ на предприятиях России : 1 - удовлетворительно; 2 - неудовлетворительно

Следует отметить, что в большинстве случаев проблемными являются концевые и соединительные кабельные муфты.

На рисунке 2 представлено распределение проблемных кабельных линий по годам ввода в эксплуатацию. По этой диаграмме можно проследить качество монтажа кабельных линий в нашем регионе. За исключением отдельных всплесков (1960, 1968, 1971), начиная с 1978 года качество работ резко ухудшилось. То есть, несмотря на совершенствование технологии производства кабелей и кабельной арматуры, по причине низкого качества работ при монтаже кабельных линий надежность электроснабжения предприятий снизилась и весьма существенно.

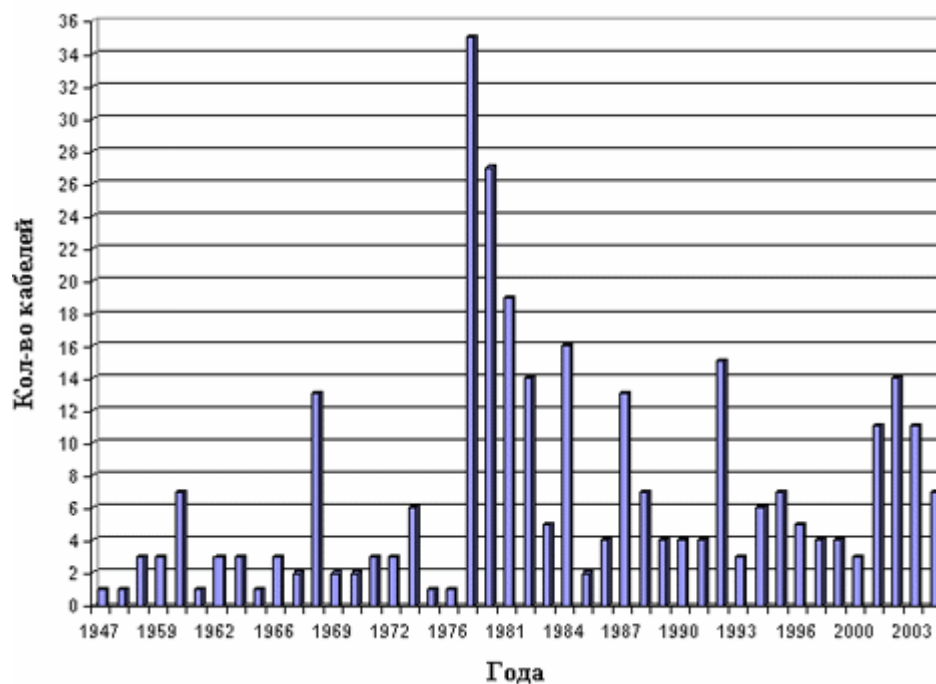


Рисунок 2. Распределение кабельных линий с неудовлетворительным техническим состоянием по годам ввода в эксплуатацию

На рисунке 3 приведена диаграмма для кабельных линий, получивших отрицательное заключение по техническому состоянию.

Из диаграммы видно, что 50% кабельных линий необходимо менять либо полностью, либо частично. Другая половина кабельных линий требует ремонта концевых или соединительных муфт, т. е. эти линии могут быть приведены в рабочее состояние с наименьшими затратами.

Таким образом, количество проблемных кабельных линий можно сократить и тем самым уменьшить материальные и трудовые затраты на восстановление надежного электроснабжения предприятий. Следовательно, одной из основных задач диагностики является получение информации для продления ресурса работы кабельных линий сверх нормативного срока службы. Кроме того, результаты диагностики OWTS позволяют получить полную картину технического состояния кабельных линий с локализацией проблемных мест, если таковые имеются.

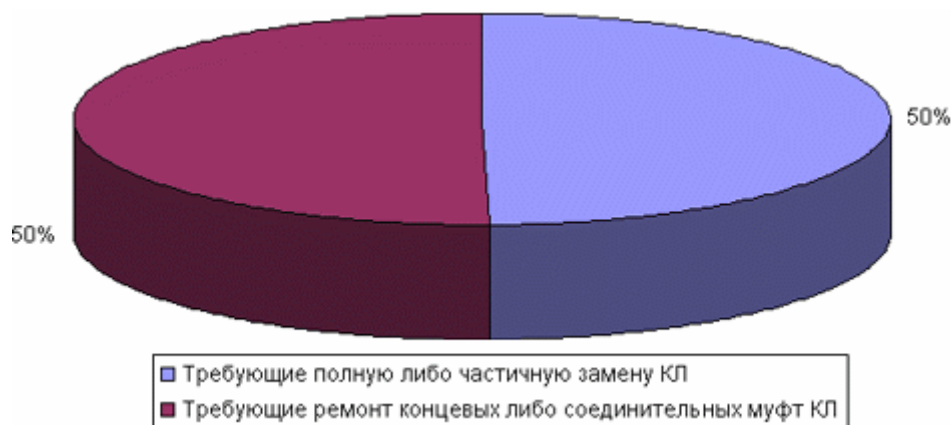


Рисунок 3. Статистика кабельных линий с неудовлетворительным техническим состоянием

В перспективе техническое состояние высоковольтных кабельных линий должно соответствовать европейским нормам. Поэтому следует обратить внимание на совершенствование технологии монтажа кабельных линий и соответствующее повышение требований по оценке их технического состояния.

Виды повреждений кабельных линий

Несмотря на повышение качества изоляции и токоведущих частей электрооборудования, воздушных и кабельных линий, нельзя исключить их повреждений. Более того, удельное количество повреждений является достаточно устойчивой характеристикой определенного класса электрических сетей на каждом этапе их развития. Так, в России и за рубежом для воздушных линий (ВЛ) 330-500 кВ этот показатель составил 0,25-0,5 повреждений на 100 км длины в год [1].

Определение мест повреждения (ОМП) является наиболее сложной, а часто и относительно наиболее длительной технологической операцией по восстановлению поврежденного элемента сети. Это повседневная оперативная задача диспетчерских служб электрических сетей и систем.

В сетях средней электрической системы годовое количество повреждений исчисляется сотнями, а в питающихся от нее абонентских сетях - тысячами. Затраты средств на ОМП составляют существенную часть эксплуатационных издержек в электросетях. Доля же капитальных затрат на устройства для ОМП в общих капитальных затратах относительно мала.

Внедрение прогрессивных методов и средств ОМП дает значительный экономический эффект, обусловленный предотвращением перехода неустойчивых повреждений в устойчивые, сокращением перерывов электроснабжения, уменьшением объема ремонтных работ, снижением транспортных расходов по объезду трасс линий и т. п. В последней пятилетке в масштабах страны этот эффект исчислялся миллионами рублей в год.

Задачи определения поврежденного элемента сети и ОМП кабельных линий (КЛ) возникли с появлением сетей и КЛ. Актуальной же задача ОМП ВЛ стала лишь в последние десятилетия.

В элементах электрической сети возникают как устойчивые, так и неустойчивые повреждения изоляции и токоведущих частей. Неустойчивые повреждения могут

самоустраняться, оставаться неустойчивыми или переходить при определённых условиях в устойчивые.

В изоляции КЛ неустойчивые повреждения в большинстве случаев возникают вследствие специфических свойств бумажно-масляной изоляции. При её пробое в разрядном промежутке создаются условия, способствующие гашению электрической дуги. Аналогичные явления имеют место в маслонаполненных силовых и измерительных трансформаторах.

По характеру повреждений в кабельных линиях, различают следующие их виды:

- 1) повреждение изоляции, вызывающие замыкание одной фазы на землю;
- 2) повреждение изоляции, вызывающие замыкание двух или трех фаз на землю;
- 3) повреждение изоляции, вызывающие замыкание двух или трех фаз между собой;
- 4) обрыв одной, двух или трех фаз без заземления;
- 5) обрыв одной, двух или трех фаз с заземлением оборванных жил;
- 6) обрыв одной, двух или трех фаз с заземлением не оборванных жил;
- 7) «заплывающий» пробой изоляции;
- 8) повреждения линий одновременно в двух или более местах, каждое из которых может относиться к одной из вышеуказанных групп.

Однофазные повреждения - самый распространенный вид повреждений силовых кабельных линий напряжением 1-10 кВ. При этом виде повреждений одна из жил кабеля замыкается на его экранирующую оболочку.

Однофазные повреждения можно разделить на три группы по значению переходного сопротивления в месте замыкания.

К первой группе относятся повреждения с переходным сопротивлением, равным десяткам и сотням мегаом (заплывающий пробой).

Ко второй группе относятся повреждения с переходным сопротивлением от единиц ом до сотен килом;

К третьей группе - повреждения с сопротивлением, близким к нулю.

Междуфазные повреждения составляют около 20% всех видов повреждений кабельных линий. Их можно разделить на две группы.

К первой относятся повреждения с переходным сопротивлением в месте дефекта, близким к нулю, и

ко второй группе - с сопротивлением от единиц килоом до сотен мегаом.

В первом случае часто все три жилы свариваются между собой и с экранирующей оболочкой. При большом токе короткого замыкания кабель может перегореть на две части.

При междуфазных повреждениях, относящихся ко второй группе, обычно между жилами и оболочкой кабеля имеется переходное сопротивление и замыкание между собой двух жил происходит через экранирующую оболочку.

Замыкание двух жил между собой без замыкания на оболочку происходит редко. Орыв жил происходит из-за перемещения слоев почвы в местах расположения муфт, вследствие чего происходит вытягивание жил кабеля, а в муфтах, как правило, разрыв жил (растяжка). Разрыв жил кабельных линий может произойти и в целом месте из-за различных механических воздействий или заводского брака.

Для ОМП КЛ важное значение имеет статистическое распределение повреждений по её элементам. По данным анализа 3649 аварий КЛ, 13,5% повреждений приходится на соединительные муфты, 16,5% - на концевые муфты и заделки, остальные 70% - «целые» места кабеля.

При этом на электрические пробой изоляции в «целом» месте приходится 40% случаев и на механические повреждения – 60%. Характерным результатом профилактических испытаний КЛ является большая относительная повреждаемость концевых и соединительных муфт, достигающая суммарно 40-45% (против 30% при авариях). Это указывает в частности, на эффективность профилактической отбраковки концевых и соединительных муфт [1].

Структура поиска повреждений

Разнообразие видов и характера повреждений, а также структуры и условий работы электрических сетей не позволяет получить какой-либо универсальный метод ОМП. Еще более сложно создать какую-либо универсальную аппаратуру. Достаточно отметить, что необходимо находить повреждения как в сверхмощных и сверхдальних электропередачах, так и во внутренних проводках к отдельным светильникам при расстояниях в несколько метров.

Для разного типа линий и сетей, а также видов повреждения к методам и устройствам ОМП предъявляются различные требования, обусловленные технико-экономическими факторами. Удовлетворить этим требованиям удастся только при условии рассмотрения совокупности методов и средств ОМП как системы с единой структурой для всех типов линий и сетей при любом характере повреждений.

Структурная схема системы ОМП приведена на рисунке 4 [1].

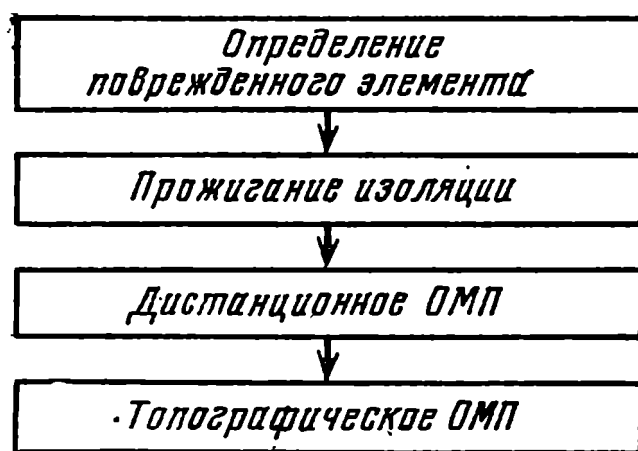


Рисунок 4. Структурная схема системы ОМП в электрических сетях

Система ОМП включает четыре последовательные операции:

- 1) определение поврежденного элемента;
- 2) прожигание изоляции в месте повреждения;
- 3) дистанционное ОМП;
- 4) топографическое (трассовое) ОМП.

Выделение поврежденного элемента во многих случаях осуществляется автоматически при срабатывании селективной релейной защиты. Если при срабатывании релейной защиты автоматически (отключается) группа элементов (например, последовательная цепочка линий, РУ и трансформаторов), то выделение поврежденного элемента входит в систему ОМП.

Определение поврежденных элементов приходится осуществлять не только при авариях, т. е. внезапных КЗ, но и при профилактических испытаниях. Это относится к испытаниям одновременно охватывающим цепочки элементов или даже участки электрической сети. Способы определения повреждённых элементов зависят от характеристик и видов повреждений.

Вторая операция системы ОМП - прожигание. По существу это подготовительная операция, обеспечивающая возможность использования совокупности методов ОМП. Многие методы ОМП применимы только при переходном сопротивлении в месте повреждения изоляции не более сотен и даже единиц Ом (в отдельных случаях требуются десятые доли Ома). Снизить переходное сопротивление – задача прожигания [2].

При профилактическом (во время испытаний) пробое изоляции КЛ переходные сопротивления составляют десятки мегаом и более. Во многих случаях остаются недопустимо большими для ОМП переходные сопротивления и при аварийных повреждениях КЛ. Поэтому прожигание изоляции КЛ в месте повреждения необходимо в подавляющем большинстве случаев. Для этой цели применяются специальные установки. Стоимость и габаритные размеры таких установок являются определяющими для всего передвижного комплекса средств ОМП КЛ.

Как правило, прожигание поврежденной изоляции ВЛ, РУ и трансформаторов не требуется. Это прежде всего связано с характером повреждения изоляции этих элементов. **Повторная подача рабочего напряжения на предположительно поврежденный элемент является по существу операцией, аналогичной прожиганию.** Эта операция позволяет подтвердить наличие повреждения и может привести к снижению переходного сопротивления. Повторное или многократное включение поврежденного элемента является операцией, входящей в систему ОМП. Для некабельной изоляции её лишь условно можно называть прожиганием. **Специальные методы и средства необходимы только для прожигания кабельной изоляции.**

Общими требованиями к ОМП всех типов и классов линий электропередачи являются быстрота и точность. Наиболее быстро можно произвести дистанционное ОМП, заключающееся в измерении расстояния до места повреждения от конца или концов линии. Однако любое дистанционное ОМП обладает ограниченной точностью.

Для КЛ, проложенной в земле, нельзя достаточно определенно указать место раскопки трассы, соответствующее идеально точно измеренному расстоянию от конца линии. Ниже отмечаются факторы, делающие неопределенной задачу точного измерения расстояния до места повреждения. Расстояния до характерных точек трассы КЛ (поворотов, соединительных муфт и т. п.) в исполнительной документации указываются в планах, т.е. в горизонтальной плоскости. В действительности КЛ изменяет свое положение и по вертикали, что не отражается в документации.

Таким образом, дистанционное ОМП позволяет быстро указать фактически не место повреждения, а зону его расположения. Требованию точности дистанционное ОМП может удовлетворить лишь на очень коротких линиях ($l < 100$ м). Для подавляющего большинства длин КЛ необходим, следовательно, еще один метод ОМП – топографический (трассовый).

Топографическое ОМП - это определение искомого места на трассе, т.е. топографической точки расположения места повреждения. Точность современных топографических методов для КЛ не ниже ± 3 м. Но ограничиться использованием только топографических методов, обеспечивающих необходимую точность, тоже нельзя, так как при этом не удовлетворяются требования быстроты ОМП (не более

нескольких часов). При использовании топографических методов необходимо перемещаться со специальной аппаратурой по всей трассе КЛ. Знание же указанной дистанционной зоны повреждения позволяет ограничиться пределами этой зоны, т. е. резко сократить время поиска [1].

Положение о необходимости применения не менее двух методов ОМП (дистанционного и топографического) распространяется и на ВЛ в основном потому, что линейному персоналу (обходчикам) без топографических средств очень трудно обнаружить следы повреждения ВЛ. Даже верховые (с подъемом на опоры) осмотры на всегда позволяют найти следы перекрытия подвесных или штыревых изоляторов.

Иногда, особенно при неустойчивых повреждениях, вообще не остается на трассе ВЛ следов перекрытия и протекания токов КЗ. Если имеются топографические средства, например указатели «поврежденных» опор, то можно делать верховой осмотр лишь одной опоры (иногда еще двух соседних). Время поиска резко сокращается. Таким образом, каждое повреждение надо определить сначала дистанционно (найти зону) графически (найти место). Исключение составляют лишь очень короткие линии или проводки. Для них часто достаточен какой-либо один метод ОМП.

Отдельные методы ОМП представляют собою совокупность сложных операций. Например, ОМП на основе измерения параметров аварийного режима включает операции, связанные с автоматизированной системой диспетчерско-технологического управления. Эти вопросы могут рассматриваться при описании соответствующих методов. Здесь лишь необходимо отметить, что ОМП является повседневной оперативной диспетчерской задачей для всех видов сетей электрических систем. Система ОМП - звено системы управления передачей и распределением электроэнергии.

На рисунке 5 представлена схема классификации методом ОМП. В основу классификации положено разделение на: 1) дистанционные и топографические и частотные и низкочастотные методы. Последнее подразделение связано с принципиальным различием электрических процессов в объектах измерения (проводах и кабелях) в существенно разных частотных диапазонах.

Под низкочастотным диапазоном (f_n) понимаются частоты от нуля (постоянный ток) до нескольких килогерц. При этом для воздушных линий $f_n=0-1$ кГц, для кабельных линий $f_n=0-10$ кГц. К высокочастотному диапазону (f_v) относятся частоты, превышающие несколько десятков килогерц. При этом для воздушных линий $f_v=30-1000$ кГц, для кабельных линий $f_v=60-10^6$ кГц. Диапазоны частот 1-30 кГц для ВЛ и 10-60 кГц для КЛ не используются в практике ОМП. Это означает, что между двумя используемыми частотными диапазонами разница весьма существенная.

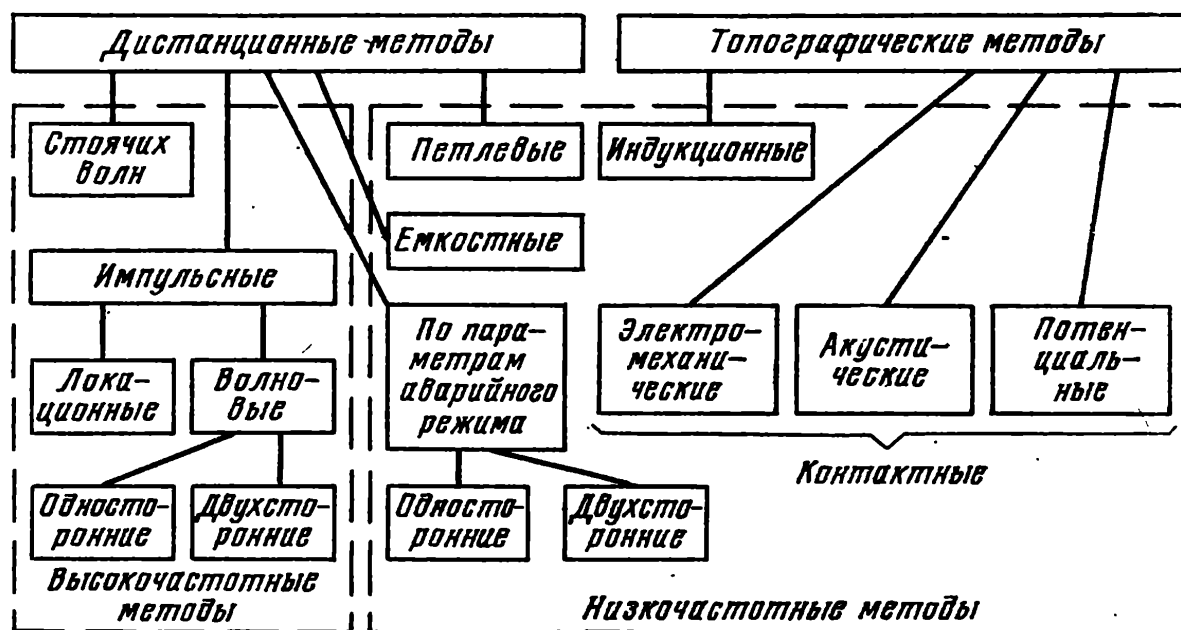


Рисунок 5. Схема классификации методов ОМП

Теоретические основы соответствующих групп методов различаются более существенно, чем для групп дистанционных и топографических методов. Метод стоячих волн практического распространения не получил, и из высокочастотных используются только импульсные методы. Это тем более целесообразно, что они наиболее распространены и эффективны, а теоретические основы и методология их использования имеют специфические особенности [1].

Выводы

1. Объективные данные о техническом состоянии электрооборудования можно получить современными диагностическими методами. Диагностические испытания электрооборудования, как правило, выполняются методами, не травмирующими изоляцию. Они позволяют определять не только техническое состояние объекта, но и локализовать имеющиеся проблемные места.

2. Достоверная диагностика состояния изоляции электротехнического оборудования неразрушающими методами позволит отказаться от профилактики изоляции разрушающими методами контроля, которые во многих случаях приводят к уменьшению ресурса, несвоевременному и непредсказуемому пробое изоляции.

3. К числу недостатков диагностических методов испытаний изоляции следует отнести высокую стоимость диагностической аппаратуры и требующую наличия высококвалифицированного персонала, большую сложность методов диагностики. Однако эти недостатки перестают иметь место при производстве диагностических испытаний силами специализированных предприятий, имеющих персонал высокой квалификации.

4. Важным вопросом является оценка результатов диагностики OWTs и формулирование заключения. Для этого необходимо иметь критерии оценки по уровню ЧР, частоте и интенсивности. Методики и соответственно критерии по оценке

результатов диагностики, применяемые в Европе - в России пока представляется нецелесообразным.

5. В полиэтиленовой изоляции под воздействием повышенного напряжения происходит интенсивное зарождение дендритов по всей длине кабеля, т. е. такие испытания заведомо уменьшают ресурс кабеля.

6. Практическая работа по диагностике технического состояния кабельных линий на предприятиях России методом частичных разрядов ведется не первый год и зарекомендовала себя как высоким качеством работ, так и экономической целесообразностью.

7. Определение мест повреждения (ОМП) является наиболее сложной, а часто и относительно наиболее длительной технологической операцией по восстановлению поврежденного элемента сети. Это повседневная оперативная задача диспетчерских служб электрических сетей и систем.

В сетях средней электрической системы годовое количество повреждений исчисляется сотнями, а в питающихся от нее абонентских сетях - тысячами. Затраты средств на ОМП составляют существенную часть эксплуатационных издержек в электросетях. Доля же капитальных затрат на устройства для ОМП в общих капитальных затратах относительно мала.

Внедрение прогрессивных методов и средств ОМП дает значительный экономический эффект, обусловленный предотвращением перехода неустойчивых повреждений в устойчивые, сокращением перерывов электроснабжения, уменьшением объема ремонтных работ, снижением транспортных расходов по объезду трасс линий.

Список использованных источников

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982.- 312 с., ил.
2. Платонов В. В. ,Шалыт Г. М. Испытание и прожигание изоляции силовых кабельных линий. М., «Энергия», 1975.-136 с.
3. Дементьев В.С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. 3-е изд., перераб. М.: Энергия, 1980. 72 с., ил.
4. Бажанов С. А. Выбор аппаратуры для испытания электрооборудования. М.: Энергоатомиздат, 1987. 128 С.,
5. Арайс Р. Ж., Сталтмание И. О. Испытания и измерения в электросетях 0,4- 20 кВ. М.: Энергия, 1979. 104 с., ил.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Д.А. Гринченко, А.А. Колтырин

Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) требует повышения их энергоэффективности и технического совершенствования. Традиционные силовые трансформаторы имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия (КПД), однако, увеличение стоимости электрической энергии, вследствие увеличения стоимости топлива, стимулирует интенсивные поиски путей снижения потерь в ЭЭС, в том числе и в силовых трансформаторах, потери в которых составляют около половины потерь при передаче и распределении электроэнергии

Введение

Открытие явления высокотемпературной сверхпроводимости и достигнутое повышение их критической температуры до ~ 100 К создало принципиально новые возможности для практических применений сверхпроводимости. Главная из них состоит в повышении рабочих температур сверхпроводниковых устройств от единиц градусов Кельвин до температур 30–100 К. Существующие на сегодняшний день технологии позволяют получать токонесущие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) элементы в виде композитных ВТСП проводов, объемных элементов с поликристаллической структурой, а также в виде листовых композитов.

Цель работы

Целью данной работы является анализ устройства высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов и их влияние на уровень напряжения электрической сети.

Высокотемпературные сверхпроводниковые трансформаторы.

Особенностью работ в области высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) устройств явилась большая доступность создания и испытания небольших моделей трансформаторов по сравнению с низкотемпературными сверхпроводниковыми (НТСП) устройствами, поскольку работа с жидким азотом проще, чем с жидким гелием, и он значительно дешевле. В результате количество участников разработок высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов (ВТСП трансформаторов) существенно расширился за счет университетов, которые ранее участвовали на этапе НТСП, но самостоятельных серьезных работ не вели.

В 1997 году был создан первый ВТСП трансформатора рассчитанный на напряжение 0,4 кВ мощностью 630 кВ·А производства компании ABB, при участии американской компании ASC и французской электроэнергетической системы Electricite de France (EDF). К концу этого же года в энергетическую сеть г. Женева был введён вышеупомянутый трансформатор.

ВТСП трансформаторы по сравнению с традиционными обладают значительными техническими преимуществами, а именно:

- снижены нагрузочные потери при номинальном токе на 90%, что значительно увеличивает коэффициент полезного действия трансформатора;

- уменьшены вес и габариты трансформатора до 40%, что позволяет применять ВТСП - трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструктивных изменений со значительным увеличением мощности. Облегчается и транспортировка трансформаторов;

- ограничение токов короткого замыкания (КЗ), что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;

- уменьшение реактивного сопротивления позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;

- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;

- охлаждение жидким азотом повышает экологическую, пожаро и взрывобезопасность

Вместе с тем, использование жидкого азота в таких трансформаторах позволит, помимо основной функции хладагента, получить надежную, высокоэффективную изоляцию, отличающейся от обычной традиционной изоляции такими параметрами, как экологическая чистота, пожаро- и взрывобезопасность.

При этом мощность, затрачиваемая на охлаждение данных трансформатора, снижается в 20 раз по сравнению с мощностью, затрачиваемой на охлаждение обычных силовых трансформаторов.

Устройство ВТСП трансформаторов .

Разновидность конструкций ВТСП трансформаторов и их отдельных элементов значительно шире по сравнению с аналогичными вариантами традиционных силовых трансформаторов. Магнитопровод трансформатора может иметь как «холодное» исполнение (погружен в жидкий азот вместе с обмотками), так и «теплое» исполнение (работает при комнатной температуре). Холодное исполнение, с одной стороны, способствует упрощению конструкции криостата и уменьшению размеров магнитной системы, с другой стороны, вносит дополнительные теплопритоки, увеличивая энергозатраты на охлаждение. Снижения теплопритоков можно достичь использованием в качестве материала магнитопровода аморфных сталей, имеющих очень низкие тепловыделения (0,2 Вт/кг при 1,4 Т и 100 К), или обычной

холоднокатаной электротехнической стали с улучшенными характеристиками. Тёплое исполнение магнитопровода приводит к более сложной конструкции криостата, выполняемого в виде полого цилиндра, что увеличивает размер магнитной системы, но вместе с тем уменьшает теплопритоки в холодную часть.

При этом в качестве материала магнитопровода можно использовать сравнительно дешёвую тонколистовую рулонную электротехническую сталь.

Обмотки трансформатора могут быть концентрическими или чередующимися и намотаны как проводниками первого поколения, так и проводниками второго поколения. Сверхпроводники имеют две основные особенности: пренебрежимо малые потери при относительно большой плотности тока и «переключающий режим» – переход от нулевого сопротивления к высокому сопротивлению, когда ток превысит критический ток. И, как известно, сверхпроводящее состояние существует только ниже определенной температуры. Обычно рабочая температура для удобства принимается равной температуре кипящего азота, т.е. 77 К. В качестве изоляции обмоток используется так называемый каптон (полиимидная пленка), обладающий хорошими изоляционными характеристиками и теплопроводностью при малой толщине пленки. Система охлаждения ВТСП трансформаторов может быть выполнена как с принудительной циркуляцией жидкого азота, так и с естественной циркуляцией.

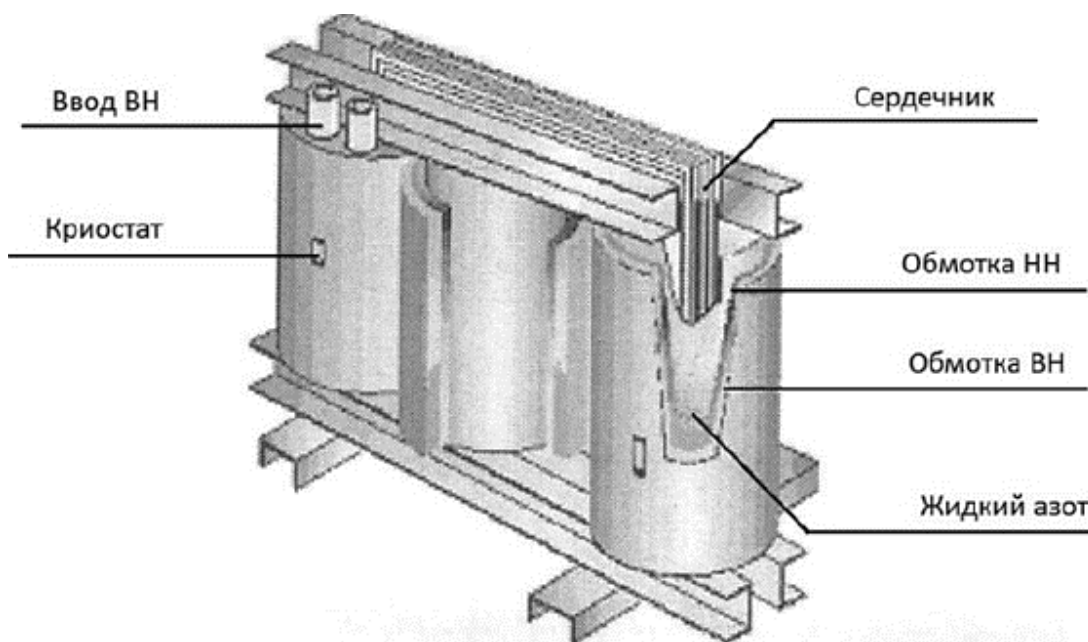


Рисунок 1. Схематическое устройство ВТСП трансформатора

Применение ВТСП-трансформаторов в энергосистеме

Применение ВТСП-трансформаторов в энергосистеме позволяет воспользоваться их способностью ограничивать токи короткого замыкания. При замене обычного трансформатора на ВТСП-трансформатор большей мощности не потребуется заменять выключатели. Ограничение токов короткого замыкания в ВТСП-трансформаторах позволяет уменьшить напряжение короткого замыкания трансформатора на 50 %. Это

позволит иметь более стабильное трансформаторное напряжение, не прибегая к регулированию, что повысит качество напряжения. Таким образом, ВТСП трансформаторы положительно влияют на уровень напряжений, вызывая меньшее падение напряжения. Другими словами в случае с ВТСП трансформаторами изменяется коэффициент трансформации трансформатора (уменьшается).

Параллельная работа с обычным трансформатором

Для параллельной работы двух трансформаторов требуется равенство напряжений короткого замыкания, первичных и вторичных напряжений, тождественность групп соединений обмоток. Достичь равенства напряжений короткого замыкания ВТСП и традиционного трансформатора возможно было бы созданием дополнительного канала рассеяния. Однако, эта мера приводит к снижению величины критического тока, из-за увеличения поля рассеяния, что, следовательно, делает нецелесообразным использование данной меры. Более того, необходимо максимально уменьшать поле рассеяния для повышения экономического эффекта от использования СП проводов в качестве обмоточного материала. Таким образом, параллельная работа ВТСП и традиционного трансформатора становится невозможной. В этой связи наиболее целесообразным представляется способ работы, при котором в нормальном режиме включен ВТСП, а обычный трансформатор отключен.

Включение обычного трансформатора производится при возникновении проблем, связанных с возвратом ВТСП после устранения короткого замыкания или иных проблем. Очевидно, что установка ВТСП на подстанции с двумя трансформаторами целесообразна при замене старого трансформатора, выработавшего эксплуатационный срок службы или при замене поврежденного трансформатора.

ВТСП трансформаторы в мире

В мире активно ведутся исследования по разработке ВТСП трансформаторов. Так фирма Siemens стремится использовать возможность изготовления компактного ВТСП трансформатора, имеющего небольшой вес и не имеющего масла для применения на локомотивах. Так как обычные тяговые трансформаторы имеют высокие потери, применение ВТСП трансформаторов оказывается выгодным уже при небольшой мощности.

Российская Федерация так же не отстает в разработке ВТСП трансформаторов. Всем известно, что в Российской Федерации сосредоточены одни из самых больших трансформаторных мощностей в мире. Это связано с тем, что в нашей стране вследствие больших расстояний между источниками генерации и потребителями имеет место многоступенчатая система повышения и понижения напряжения, которая приводит к большим потерям электроэнергии. К тому же, около 75 % трансформаторов

выработали свой эксплуатационный срок службы, что также сказывается на величине потерь и эксплуатационных затратах. В настоящее время потери энергии в электрических сетях недопустимо высоки. В следствии всего этого, в последние годы ведутся разработки оборудования с использованием явления сверхпроводимости в РНЦ «Курчатовский институт».

В России разработка и серийное применение ВТСП трансформаторов было включено в п.9.2. концепции технической политики в электроэнергетике России до 2030 года.

Вывод

Анализ, проведенный в данной статье, показывает явные преимущества ВТСП трансформаторов перед традиционными трансформаторами. Так же он показал положительное влияние на уровень напряжения в электрической сети. Это обстоятельство позволяет либо отказаться от использования устройства регулирования под нагрузкой (РПН) либо использовать устройство РПН с меньшим количеством ответвлений, что экономически выгодно.

Список использованных источников

1. Батенин В.М. Сверхпроводниковая электроэнергетика / В.М. Батенин, В.В. Желтов, С.С. Иванов, С.И. Копылов, С.В. Самойленков // Известия академии наук. Энергетика. – 2011. – №5
2. Ковалев Л.К. Зарубежные и российские разработки в области создания сверхпроводниковых электрических машин и устройств / Л.К. Ковалев, К.Л. Ковалев, И.П. Колчанова, В.Н. Полтавец // Известия академии наук. Энергетика.
3. Александров Н. В. Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата тех.наук.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАКОПИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ПОТЕНЦИАЛ ПРОДВИЖЕНИЯ РЫНКА СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ

А.А. Колтырин, Д.А. Гринченко

В конце 19 века в мире появились первые электрические сети. С этого момента ученые и начали искать способы накопления и хранения электроэнергии. Возможность собирать излишки вырабатываемой энергии в периоды низкого спроса и возвращать ее в период повышенного спроса помогает сгладить пики производства и потребления.

Введение

В настоящее время изобрели и продолжают изобретать множество разновидностей накопителей. Одни превращают электрическую энергию в механическую, как гидроаккумулирующие станции и маховики, другие преобразовывают электроэнергию в химическую энергию веществ внутри батарей, как свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, натрий-серные, литий-ионные аккумуляторы и др.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспектив развития накопительных устройств и потенциал продвижения рынка систем накопления электроэнергии в России.

Основные виды накопителей

В настоящее время используются следующие основные виды накопителей:

1. Аккумуляторные батареи — это многоразовый источник тока, который предназначен для накопления и хранения энергии. Его работа основана на обратимых окислительно-восстановительных реакциях, что дает возможность использовать батарею многократно. Для создания аккумуляторной батареи, несколько аккумуляторов соединяют в одну цепь.

Кроме традиционных кислотных все шире применяются усовершенствованные аккумуляторы на основе сульфида натрия и никель-кадмиевые, с лучшими характеристиками и большим сроком службы, чем кислотные. Внедряются особо компактные ионно-литиевые аккумуляторы. Цикл накопления энергии — суточный.

Родственны по реакциям химическим аккумуляторам регенеративные топливные элементы на основе электролитов: бромид цинка, бромид ванадия или бромид натрия. Разделение электролита в них осуществляется с помощью ионообменных мембран.

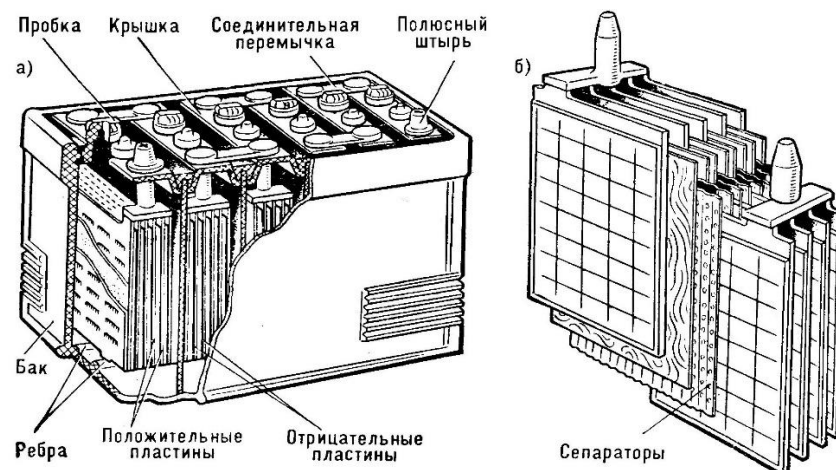


Рисунок 1. Схема аккумуляторной батареи

2. Сверхпроводниковые накопители (СПИН) запасают энергию в магнитном поле индуктивной катушки из сверхпроводника, образуемом протеканием постоянного тока. Их главное преимущество — высокий КПД преобразования (больше 95 %) и возможность выдавать мощность практически мгновенно. Сверхпроводящие накопители выдерживают тысячи циклов «заряд-разряд» без каких-либо последствий для них.

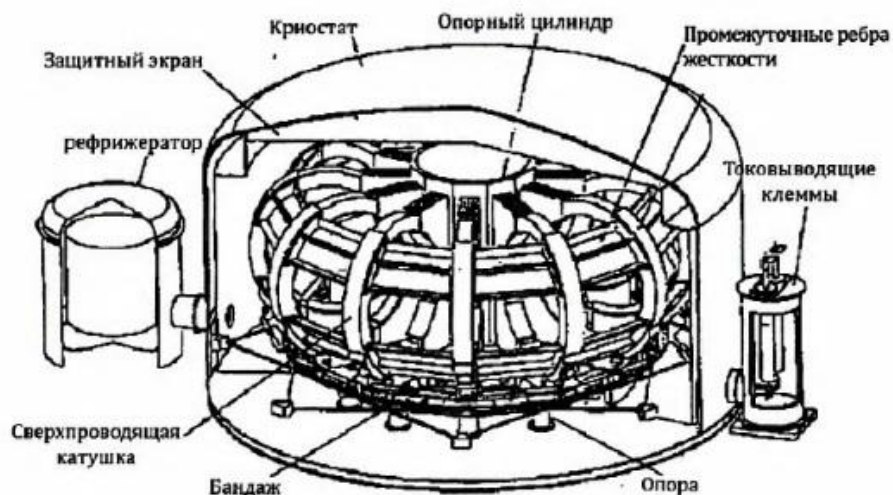


Рисунок 2. Схема сверхпроводящего накопителя (СПИН)

3. Маховиковые накопители запасают кинетическую энергию при разгоне ротора, чтобы далее отдать ее в нужный момент в виде электроэнергии. В качестве разгонного

двигателя и средства отбора электроэнергии используется обычно вертикальный двигатель-генератор. Цикл накопления энергии — минуты.

Высокоскоростные маховики изготавливаются из совершенных композитных материалов с низкой массой и большой прочностью к центробежным силам. Они более компактны по сравнению с низкоскоростными, маховик которых выполняется из металла. Недостатком кинетических накопителей является большая потребность в уходе, чем для химических аккумуляторов.

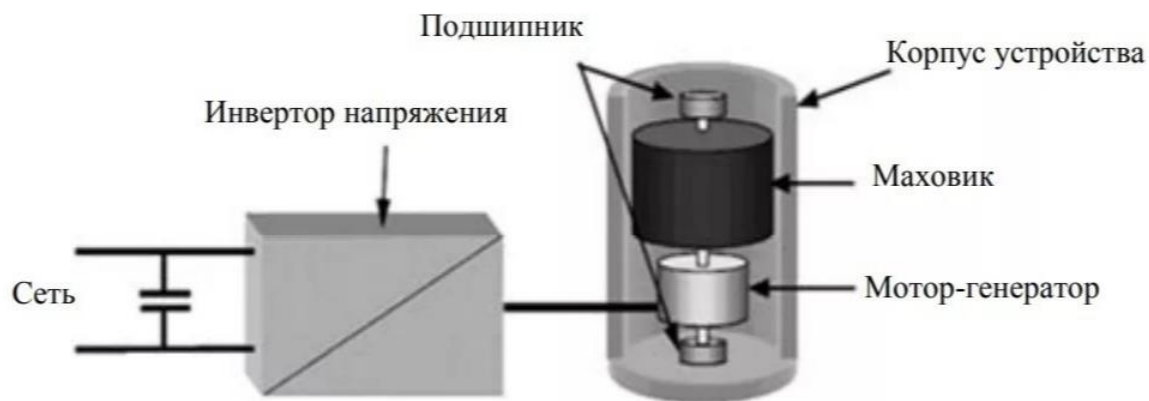


Рисунок 3. Общая схема с маховиковым накопителем

4. Суперконденсаторы — усовершенствованные конденсаторы, которые существенно отличаются от обычных практически неограниченной долговечностью, более низкими потерями тока и большими значениями удельной мощности.

При этом они имеют на порядок меньшие габариты. То есть это батарея нового поколения, которая сможет открыть многочисленные перспективы в энергетике. В первую очередь большой интерес к суперконденсаторам вызван возможностью замены ими батарей, а также создания гибких источников питания большой мощности.

Стратегической задачей для ученых в России является создание батарей высокой емкости, которые можно было бы использовать в разных областях, к примеру, для электромобилей таких, как Lada Ellada и Lada Vesta EV. Это позволит обеспечить поездки на длительные дистанции и быструю зарядку батарей. Также это гарантирует более экономичную работу возобновляемых источников энергии путем аккумулярования избытков энергии: ветроэнергетические установки и солнечные батареи.

Мировой рынок накопителей энергии

Ранее накопители энергии в развитых странах (включая Россию) применялись исключительно в автономных энергосистемах, где источниками генерации являлись солнечные панели или ветрогенераторы, без подключения к централизованным сетям. Но, по мере того, как к централизованным сетям подключается все больше солнечных и ветряных электростанций, которые могут обеспечивать энергопитание неравномерно, необходимость накопителей становится все более очевидной.

Учтенная прогнозная стоимость накопителей - \$320 за кВт/ч емкости. Доля России на мировом рынке – 1-2%, экспортная выручка \$0,18 – \$0,37 млрд.

Исходя из этого, сферой применения накопителей в России стала их интеграция в системы энергообеспечения крупных потребителей (промышленные предприятия и объекты коммерческой недвижимости). Суммарно, при использовании данной технологии электроснабжения затраты на электроэнергию и мощность могут быть снижены не менее чем на 10 – 12% в год.

Сегодня внедрение технологий накопления электроэнергии в мире вышло на государственный уровень. Такие страны, как США и Германия уже объявили государственные программы по масштабному внедрению накопителей:

Так, в начале 2013 года штат Калифорния (США) законодательно определил, что к 2022 г., операторы сети должны установить накопители энергии общей мощностью 1,3 ГВт. В Германии также был объявлен государственный проект стоимостью 25 миллионов евро для развития накопителей энергии. Гранты в рамках данного проекта предоставляются тем, кто готов установить накопители энергии, интегрировав их в существующие системы солнечных батарей страны.

Как показывают мировые тенденции, рынок накопителей электроэнергии в следующее десятилетие станет одним из наиболее быстрорастущих сегментов рынка энергетического оборудования. При этом, особое место выделено для систем, используемых для поддержки элементов энергосистем. Среднегодовой темп роста рынка данного оборудования составляет в среднем 29 – 84 % в зависимости от назначения накопителей.

Перспективы развития рынка систем хранения электроэнергии в России

Россия с существенным отставанием приступает к формированию национальной промышленности систем накопления электроэнергии (СНЭ) и развитию рынка их применения в различных секторах экономики. Страны-лидеры ведут активную политику по данному направлению. В США (штат Калифорния) планируется к 2023 году ввести 1 325 МВт накопительной мощности. В 2016 году компания National Grid (Великобритания) закупила 201 МВт систем накопления энергии для регулирования частоты, а сами СНЭ уже несколько лет представлены на рынке мощности страны. Китай относит накопление энергии к одной из 8 ключевых сфер развития энергетики, до 2025 года планируется ввести 46 ГВт СНЭ. В США и в Китае интенсивно развивается масштабное производство накопителей, ориентированное на насыщение внутреннего рынка и также на массовые экспортные поставки.

В России предполагается развитие накопителей за счет новых ГАЭС, накопителей на солнечных и ветровых электростанциях, системных накопителей, накопителей у потребителей и на электромобилях (до 20 ГВт к 2035 году в оптимистическом сценарии)

На данный момент уже происходит разработка рыночных механизмов, стимулирующих потребителей к активному участию в формировании розничного рынка электроэнергии (управление спросом посредством участия в регулировании графика нагрузки), с применением, в том числе, технологии хранения и аккумуляции электроэнергии и ее воспроизводства.

В планах на 2025 год, создать в России новую высокотехнологичную отрасль систем хранения электроэнергии для:

- Вывода российских компаний на лидирующие позиции мирового рынка систем хранения электроэнергии и их компонент
- Повышения системной эффективности электроэнергетики России и сдерживания роста цен на электроэнергию за счет применения систем хранения электроэнергии
- Повышения эффективности электроснабжения потребителей с высокими требованиями к доступности, надежности, мобильности и качеству электроэнергии за счет применения систем хранения электроэнергии

Применение новых технологий

Металл-воздушные аккумуляторы, такие как цинк-воздушные и алюминий-воздушные батареи, обеспечивающие существенное снижение стоимости энергоемкости при приемлемом количестве циклов, а также чрезвычайно высокую плотность энергии.

Водородные технологии, основанные на сочетании технологий power-to-gas и технологии топливных элементов и обеспечивающие хранение энергии в синтетическом химическом топливе, которое может быть использовано в электрохимических и тепловых машинах.

Гравитационные накопители (в том случае если они обещают существенное снижение удельной стоимости энергоемкости для систем большого, мегаваттного класса). К числу таких технологий принадлежат существенно различающиеся по своей конструкции технологии СНЭ, например, так называемые твердотельные аккумулирующие электростанции (ТАЭС), основанные на принципе лифта твердых грузов. В ряде типов гравитационных накопителей Россия имеет серьезные основания рассчитывать на роль технологического лидера. В 2017 году компания ТЭЭМП запустила в г. Химки производство высокоэффективных суперконденсаторов и модулей на их основе. При этом все это — чисто российские разработки. ТЭЭМП, к слову, производит плоские единичные элементы в ламинированном корпусе, который может использоваться в химических источниках тока с органическими электролитами: суперконденсаторах, литий-ионных аккумуляторах, металло-воздушных источниках тока.

При этом, ТЭЭМП производит ячейки собственной запатентованной конструкции — призматическая ячейка с токосъемом по всей ее поверхности. И сделано это не для того, чтобы показать свою уникальность, а чисто с практической точки зрения — распределенный по всей поверхности токосъем обеспечивает равномерность тепловых полей, тем самым замедляя процесс деградации и продлевая срок службы суперконденсатора.

Продукция «ТЭЭМП» уникальна по многим параметрам. Суперконденсаторные модули компании успешно работают при температурах до -60°C . Они отличаются низким внутренним сопротивлением, а значит, способны обеспечить большие импульсные токи. Собственная конструкция ячеек и модулей позволяет снизить массу и размер суперконденсаторной сборки на 30% по сравнению с аналогичными устройствами.

Выводы

На данном этапе необходимо снять регуляторные барьеры и тем самым обеспечить реализацию инициативных и пилотных проектов применения СНЭ. На следующем этапе, по результатам реализации пилотных проектов, необходимо определить и запустить мероприятия по стимулированию спроса на системы накопления электроэнергии и развитию рынка.

Список использованных источников

1. Макаров А. А. Энергия и энергетика будущего // Материалы Российского энергетического форума. М., 2005.
2. Чупин Д. П. Исследование методов диагностики аккумуляторных батарей.,2012.
3. Горячева Г.А. Конденсаторы; Книга по Требованию - Москва, 2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НИХРОМОВОЙ НИТИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРУЗОЧНОГО СТЕНДА МАГНЕТРОНА

В.С. Исеев, А.В. Темиров

На данный момент актуальным становится использование импульсных источников питания для магнетронов в связи с их малогабаритностью и возможностью плавного регулирования выходных характеристик. В данной статье мы решили рассмотреть возможную реализацию нагрузочного стенда на базе нихромовой нити. Мы использовали замеры температуры нагрева, чтобы вычислить коэффициент теплоотдачи и сравнить его с коэффициентом излучаемой поверхности, чтобы определить коэффициент k . В результате вычислений мы получили коэффициент $k=0.86$ и вывели формулу зависимости коэффициента теплоотдачи для двух нитей $A_2 = 2A_1k$

Введение

В настоящее время импульсные источники питания нашли широкое применение в различных областях техники. Одним из таких предложений является импульсные источники питания для магнетронов. В качестве преимуществ таких источников являются малые габариты и возможность плавного регулирования выходных характеристик в широком диапазоне. Особенностью таких источников питания является относительно высокое напряжение во вторичной цепи, которое необходимо для питания анода магнетрона и составляет до 5000 Вольт при токе до 0,9 Ампер. Для настройки такого источника питания, а также проведения испытаний необходим нагрузочный стенд с данными параметрами.

В данной статье рассматривается реализация нагрузочного стенда на базе нихромовой нити, которая обладает высоким удельным сопротивлением.

Учитывая, что диаметр нихромового провода не стандартизирован, не всегда возможно подобрать провод, который будет соответствовать по нагреву данной нагрузке, в связи с чем целесообразно делать структуру из нескольких параллельных проводников. При этом характеристика теплообменных процессов будет изменяться от количества проводников, поэтому целесообразно получить зависимости теплоотдачи от количества проводников для их использования при проектировании нагрузочных стендов.

Математическое описание нагрузочного элемента

В процессе работы нагрузочного элемента источника питания вся энергия потребляемая нагрузкой будет выделяться в виде тепла. При этом есть ограничения по максимальному нагреву нихромовой нити, при превышении которого её элементы начнут плавиться, выведя из строя нагрузочный стенд. В связи с этим нужно иметь тепловую модель, которая позволит связать мощность, потребляемую нагрузкой с её тепловым состоянием. В общем случае для установившегося режима работы, тепловая модель нихромовой нити с протекающим по ней током для установившегося режима будет иметь вид:

$$P = UI = I^2R = A(T - T_0) \quad (1),$$

где P – мощность, потребляемая нагрузочным стендом; U , I – напряжение и ток

протекающий по нихромовой нити стенда; R – активное сопротивление нихромовой нити; T – температура нихромовой нити; T_0 – температура окружающей среды; A – коэффициент теплоотдачи.

Из уравнения (1) замеряя подводимую мощность и температуру нагрева проводника можно экспериментальным путём определить коэффициент теплоотдачи. При этом мощность целесообразно определять путём измерения тока и напряжения, так как использование уравнения мощности активного сопротивления потребует корректирующих коэффициентов связанных с изменением активного сопротивления проводника от температуры. Уравнение теплоотдачи будет иметь вид:

$$A = \frac{IU}{T - T_0}$$

С физической точки зрения коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность рассеивания энергии с поверхности проводника по средствам инфракрасного излучения и конвекции, как это показано на рисунке №1.

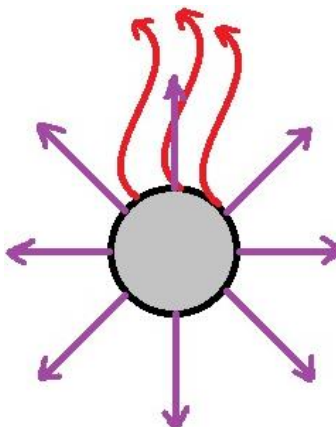


Рис. 1. Рассеивание энергии с поверхности единичного проводника по средствам конвекции и инфракрасного излучения

Очевидно, что коэффициент теплоотдачи будет иметь близкую к пропорциональной зависимости к площади поверхности проводника через которую рассеивается тепловая энергия. Учитывая, что в нашем нагрузочном стенде будет использоваться две сплетенных нихромовых нити, то суммарная их площадь будет в два раза больше по отношению к одной. В тоже время нужно учитывать, что при нахождении двух проводников рядом друг с другом часть внешней поверхности в области соприкосновения проводников будет перекрываться друг относительно друга, как это показано на рисунке №2.

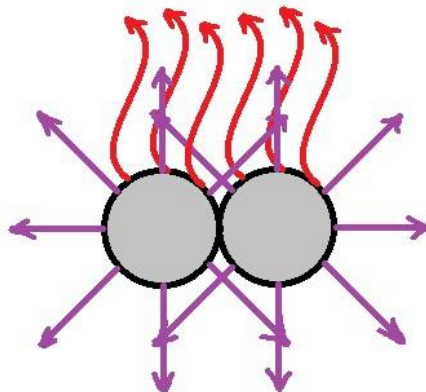


Рис. 2. Рассеивание энергии с поверхности сдвоенного проводника по средствам конвекции и инфракрасного излучения

В этом случае будем считать, что в секторе перекрывающего соседний проводник тепловая энергия будет рассеиваться, а будет передаваться от одного проводника к другому, в связи с чем у проводника уменьшается площадь с которой рассеивается тепловая энергия, а значит и уменьшается коэффициент теплоотдачи. Для определения коэффициента, связывающего теплоотдачу единичного проводника с сдвоенным проводником, воспользуемся геометрическими построениями, как показано на рисунке №3.

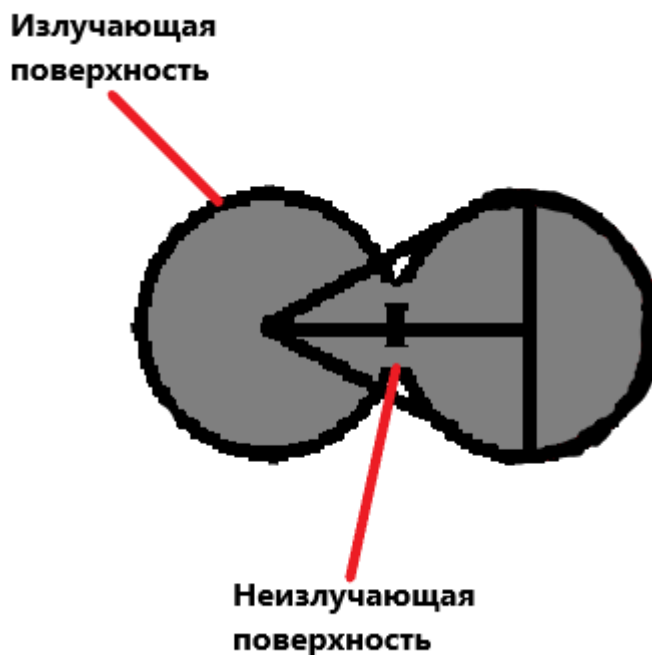


Рис. 3. Геометрические построения, применяемые для вычисления коэффициента, связывающего теплоотдачу единичного проводника с сдвоенным проводником

Исходя из геометрических построений можно получить, что для сдвоенного проводника сектор с эффективным рассеиванием тепла будет составлять 300° , в сопоставлении с 360° единичного проводника. Таким образом, ухудшение теплоотдачи проводника работающего в паре по отношению к теплоотдаче единичного проводника будет определяться коэффициентом $k_1 = \frac{300^\circ}{360^\circ} \approx 0.83$.

Экспериментальное исследование

Для проверки правильности приведенных выше умозаключений об изменении коэффициента теплоотдачи сдвоенного проводника были проведены экспериментальные исследования. Испытательный стенд, показанный на рисунке №4, включает в себя натянутую нихромовую нить, источник питания, амперметр, вольтметр и термопара для измерения температуры. Схема подключения приборов показана на рисунке №5.

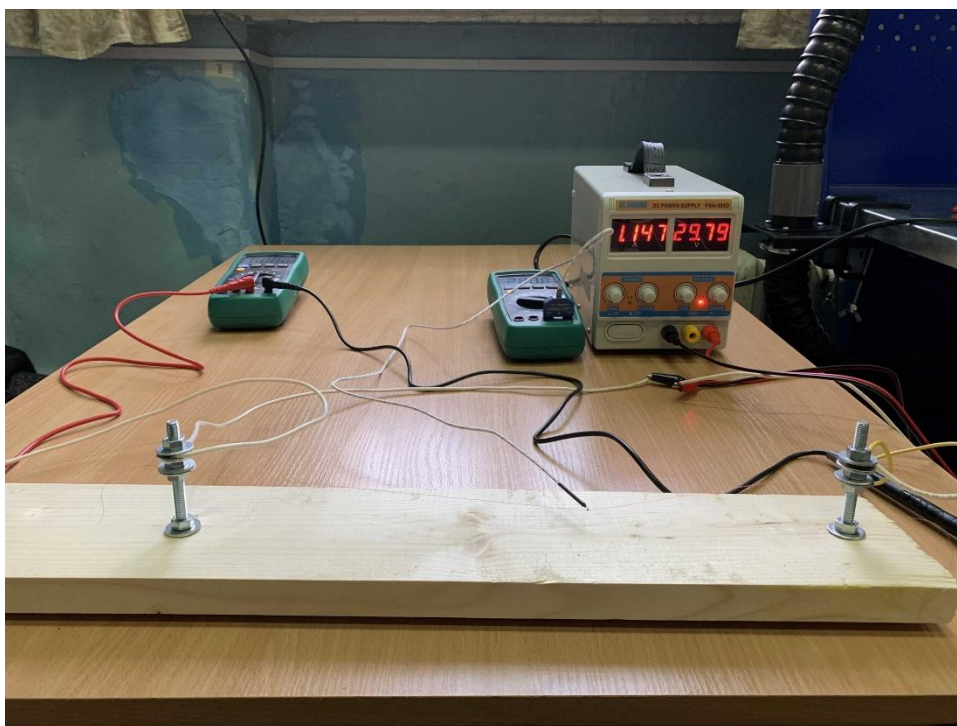


Рис. 4. Испытательный стенд

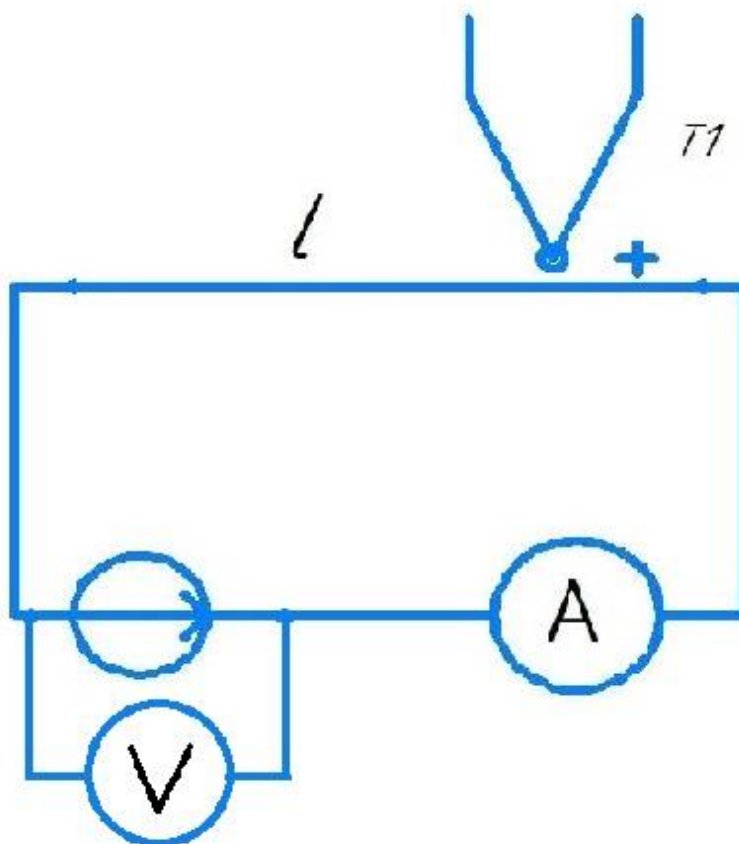


Рис. 5. Схема установки.

В процессе эксперимента сначала делались замеры для единичного проводника, а затем для сдвоенного. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках №6-9

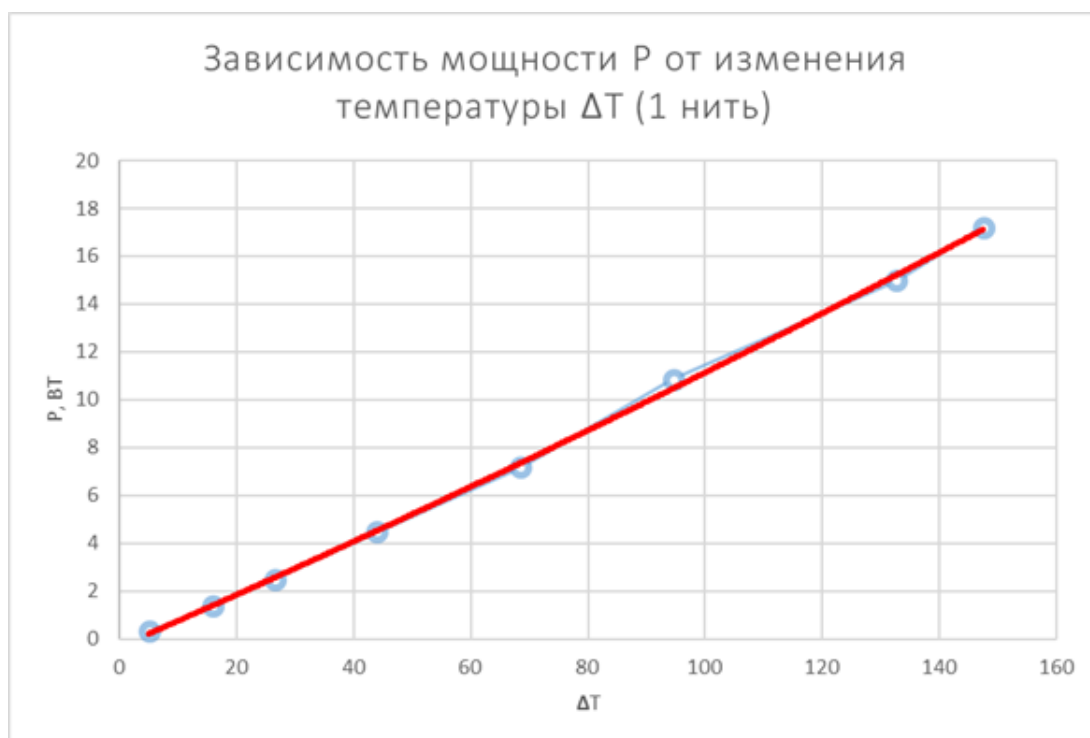


Рис. 6. Зависимость мощности от изменения температуры единичного проводника

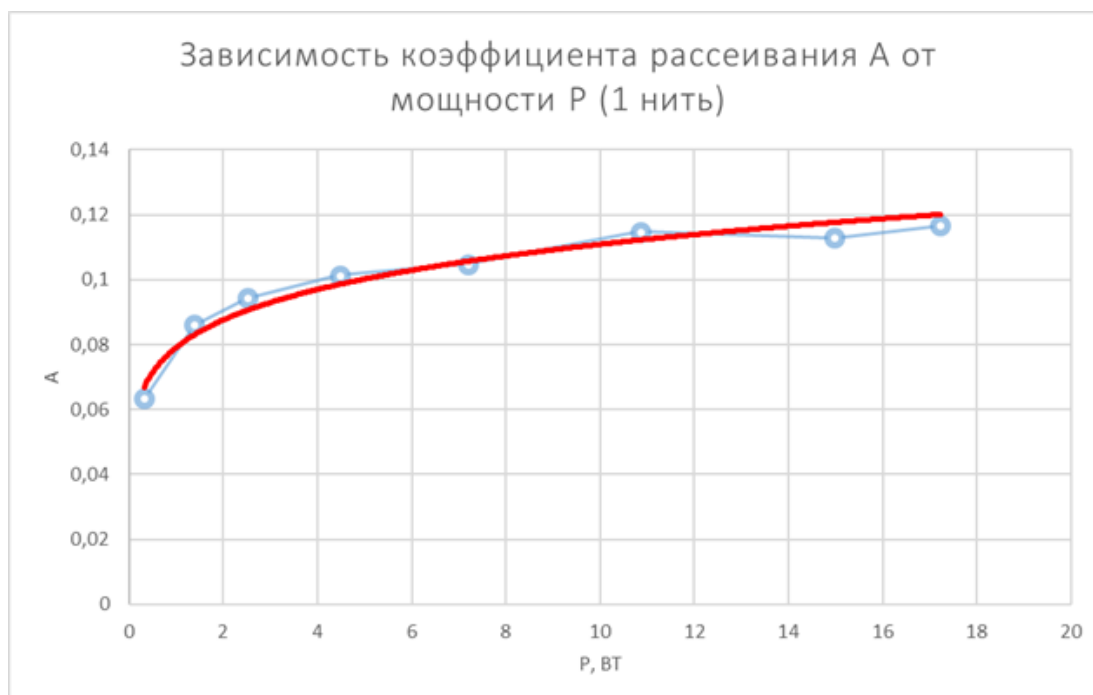


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплоотдачи от мощности единичного проводника

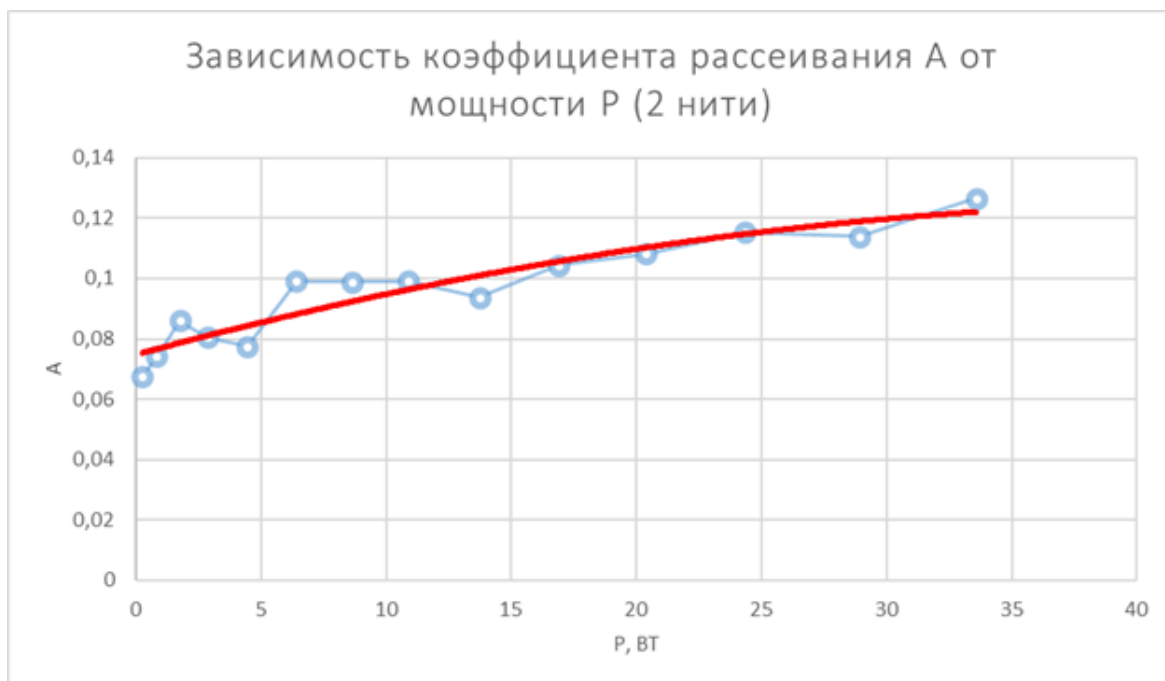


Рис. 8. Зависимость коэффициента теплоотдачи от мощности сдвоенного проводника

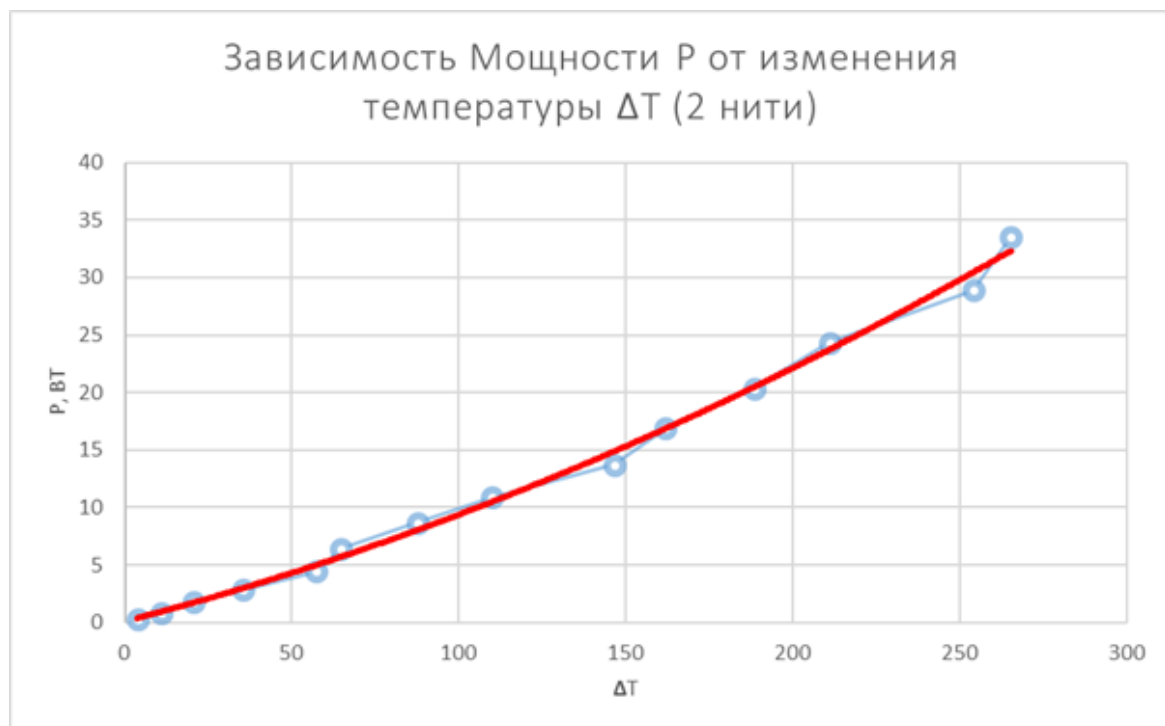


Рис. 9. Зависимость мощности от изменения температуры сдвоенного проводника

На основании полученных экспериментальных данных было получено отношение коэффициента теплоотдачи сдвоенной нити по отношению к единичной и составило $k_2 = \frac{A_1}{A_2} \approx 0.86$, что близко к расчётным данным.

Выводы

1) Для расчётов нагрузочного стенда для магнетрона на базе нихромовой нити необходимо иметь тепловую модель, необходимо знать коэффициент теплоотдачи нихромовой нити.

2) Для увеличения максимального тока нагрузочного стенда необходимо использовать сдвоенную нихромовую нить, что влечет к уменьшению коэффициента теплоотдачи составляющих нитей.

3) Приведенные экспериментальные исследования показали, что ошибка между отношением коэффициентов теплоотдачи единичной и сдвоенной нитей между расчетным и полученным экспериментальным методом значениями составило 3,6%. Таким образом для определения коэффициента теплоотдачи сдвоенного проводника необходимо определить экспериментальным или расчетным методом определить коэффициент теплоотдачи единичного проводника, после чего пересчитать значения сдвоенного по формуле: $A_2 = 2A_1k$

Список использованных источников

1. В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев «Электроника», издание второе. Москва «Высшая школа», 1991 г.
2. <https://www.tproekt.com/nihrom-provoloka-harakteristiki-i-oblasti-primenenia/>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплопередача>

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ДОМЕ

Д.М. Мусаев, Б.А. Якимович, О.Н. Титаренко

Применение интеллектуального электрооборудования в доме предполагает реализацию концепции «умного дома», которая основана на трех основных составляющих: комфорт, безопасность и энергосбережение. В наше время стоимость энергоресурсов растет с каждым днем, и современный заказчик при постройке дома или обустройстве квартиры ищет оптимальное решение цена-качество-энергопотребление. Статья посвящена рассмотрению оптимальных решений использования интеллектуального электрооборудования для экономии электроэнергии в доме.

Введение

«Умный дом» представляет собой высокотехнологичную систему, позволяющую объединить все коммуникации в одну, которая управляется с помощью искусственного интеллекта, программируемого и настраиваемого под все потребности и пожелания хозяина.

В то время, когда стоимость энергоресурсов постоянно растет, энергосбережение в быту, а именно, при обустройстве дома или квартиры, играет важную роль. Обеспечить существенное снижение потребления электроэнергии в доме, оборудованном общей системой управления, возможно за счет оптимизации режимов работы бытового электрооборудования.

Многофункциональный «умный дом», принцип работы которого основан на технологии распределенного интеллекта, «понимает» желания своего хозяина. Это принципиально новый стиль жизни. Всего нажатием одной кнопки можно установить в помещении желаемую температуру, открыть ворота или выключить освещение в неиспользуемых в данный момент помещениях.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспективных решений по использованию интеллектуального электрооборудования для экономии электроэнергии в доме или квартире.

Возможности интеллектуальной системы

Возможности интеллектуальной системы «умный дом» разнообразны. Технология позволяет создавать различные варианты систем для домашних и офисных подсистем, таких как освещение, отопление, кондиционирование, безопасность, видеонаблюдение,

при этом, легко управляя с помощью пульта, мобильного телефона, компактной сенсорной панели или интернета [3].

Устройства, являющиеся элементами «умного дома», можно разделить на несколько групп. К первой из них относятся датчики и другие элементы, которые получают и передают информацию, благодаря которым, система узнает о внешней температуре, уровне влажности, наличии движения в помещении и т.д. Функции этих устройств можно сравнить с предназначением органов чувств человека. Ко второй группе относятся исполнительные элементы, а именно устройства, которые подключаются к системе, а затем вносят определенные изменения в среду. К этой группе относится, например, источник освещения. К третьей группе относятся серверы и контроллеры. Эту группу можно сравнить с мозгом. Эти устройства передают информацию, полученную от датчиков в виде команды второй группе приборов. Если датчик (первая группа) фиксирует низкий уровень температуры, то контроллер (третья группа), которая действует по заложенной в него программе, определяет, что температура достаточно низкая и включает систему отопления (вторая группа) [2].

Основную функцию в системе выполняет контроллер, являющийся своего рода основой всей системы (рис.1). Он устанавливается возле входной двери, имеет множество кнопок и экран, на котором отображаются все данные. Контроллер может существовать самостоятельно или подключаться к компьютеру. Схематично систему управления «умный дом» можно изобразить следующим образом (рис. 1).

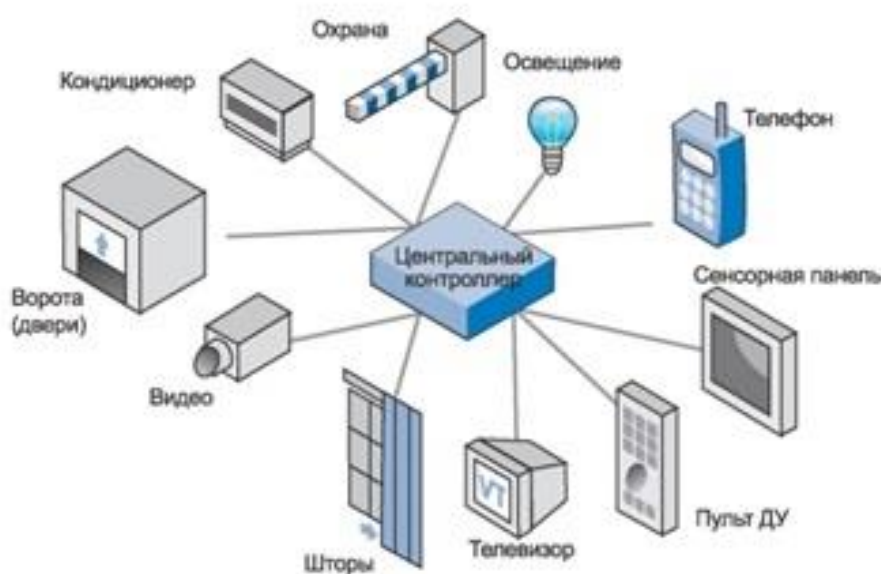


Рис.1. Схема управления системой «умный дом»

Одной из основных функциональных составляющих системы «умного дома» является система управления освещением. Управление освещением кроме функции управления также предполагает существенное энергосбережение. Системы управления освещением могут включать в себя сценарные клавишные сенсоры, встроенные и переносные сенсорные панели, которые работают по заранее составленным сценариям управления освещением [2].

Полезным, с точки зрения создания максимально комфортных условий для жизни, является возможность организации независимых климатических зон и автоматического поддержания влажности с помощью систем управления климатом. В первом случае становится возможным самостоятельно задавать температуру в разных комнатах. Система управления климатом сама будет поддерживать установленную температуру, регулируя мощность радиаторов, конвекторов и кондиционеров. Заданная влажность будет обеспечиваться благодаря специальным датчикам системы управления климатом, пароувлажнителям или осушителям воздуха.

Хотя системы управления освещением и управления климатом по-прежнему остаются лидерами по популярности среди потребителей, в последнее время увеличился спрос в квартирах и коттеджах на системы управления зданием, такие как автоматические электроприводы, которые дают возможность с пульта управления открывать и закрывать шторы, перемещать и регулировать жалюзи.

Системы управления позволяют в любой комнате получить доступ к просмотру фильмов или прослушиванию музыки. Для обеспечения безопасности предусмотрены следующие системы жизнеобеспечения здания: системы контроля утечек воды, системы управления розетками и силовыми электрическими нагрузками.



Рис.2. Схема системы «умный дом» в упрощенном виде

Системы управления становятся стандартом комфортного жилья. Число квартир и коттеджей в Санкт-Петербурге, Москве и окрестностях крупных городов, оснащенных данными системами, стремительно растет.

Интеллектуальные системы управления создают в доме максимально высокий уровень комфорта и защищенности. Защищенности не только от непрошенных гостей, но и от коммунальных аварий, например, утечек воды, газа, повреждения электропроводки и т.д. Однако, одной из основных задач «умного дома» является экономия энергоресурсов.



Рис.3. Схема защиты от аварийных ситуаций (утечек воды)

Интеллектуальные системы управления жильем пришли к нам с Запада. Люди там отличаются особой практичностью в быту и стараются максимально сократить расходы на содержание жилья. Системы автоматизации как раз и создавались с этой целью. Если, например, человек забыл погасить свет, выключить плиту, закрыть кран в ванной, то при этом возникает риск коммунальной катастрофы и дополнительных финансовых расходов. «Умный дом» автоматически после ухода владельца выключит работающую технику, гасит свет, блокирует подачу воды (рис 3). Кроме того, система ведь не только включает и выключает, она оптимизирует потребление ресурсов, а именно поддерживает оптимальную температуру в помещении, контролирует яркость света в разное время суток, давление и подачу воды в системе водоснабжения. Все это в целом дает существенную экономию затрат на содержание дома.

Одна из самых востребованных функций «умного дома» — управление освещением и климатом. Ее внедряют на самом первом этапе автоматизации жилья. И только за счет этого затраты на электроэнергию и отопление снижаются на 30-40%.

Современные технологии интеллектуального обслуживания в жилищной сфере

Автоматизация здания или отдельной квартиры во многом очень схожа с автоматизацией загородного дома, поскольку главная задача - обеспечить человеку максимальный комфорт во время пребывания в здании (квартире) и полную безопасность во время отсутствия. Более того, минимальный набор оборудования для создания системы «умный дом» в квартире идентичен перечню автоматики для загородного дома. С точки зрения комплексной автоматизации, основное различие загородного дома и квартиры состоит в том, что дом имеет индивидуальное отопление (при этом выбор источников тепла достаточно широк и в большинстве случаев остаётся за будущим жильцом), имеется прилегающая территория (которая тоже может автоматизироваться), обеспечению безопасности в частном доме принято уделять

больше внимания (имеется больше возможностей проникновения как в жилище, так и на территорию участка). С одной стороны, для создания базовой автоматизации квартира требует меньше затрат (как материальных, так и трудовых — монтаж системы прост), с другой стороны, размеры системы «умный дом» в квартире ограничиваются только нашей фантазией. Кроме того, система «умный дом» для квартиры имеет широкие возможности для интеграции в общие системы здания. Например, для удалённой передачи показаний счётчиков, передачу аварийного сигнала на центральные пульты и т.д.

Система отопления в умной квартире.

В настоящее время практически во всех городских квартирах имеются системы центрального отопления. Следовательно, управляются эти системы централизованно, поэтому осуществить полноценное комфортное управление сложнее, чем при регулировании индивидуальной системы. Тем не менее, выход есть. Системой отопления можно управлять через клапаны. Каждый радиатор должен быть оборудован приводом, а приводами в свою очередь управляет контроллер. Если в квартире кроме радиаторного отопления установлен тёплый пол, можно осуществлять переключение на более предпочтительный вариант. С помощью интеллектуальной системы можно также управлять еще и работой кондиционера. Таким образом, в холодные дни, когда центральное отопление еще не дали, система при необходимости может включить кондиционер в режим нагрева. В тоже время система может координировать работу кондиционера (работающего на охлаждение) и радиаторов отопления, либо системы теплого пола, чтобы исключить их одновременную работу.

Система безопасности в умной квартире.

С помощью интеллектуальной системы входную дверь и окна можно снабдить специальными контактами, которые будут сигнализировать об открытии. Таким образом, в случае если кто-то в отсутствие владельца жилья попытается проникнуть в квартиру, система подаст сигнал тревоги. Используя датчики дыма, система будет оповещать владельца в случае возникновения возгорания. В многоквартирных домах всегда есть вероятность затопления соседей снизу, в случае если возникнут какие-либо поломки с водопроводом. «Умная квартира» с оборудованием интеллектуальной системы может сама справиться с этой проблемой, и в случае протечки перекрыть подачу воды в дом.

Система информирования и удаленного управления умной квартирой. Находится в «умной квартире», конечно же, приятно, но постоянно это делать невозможно. Нередки случаи, когда мы покидаем ее. И конечно, хочется иметь возможность проверять все ли приборы в квартире выключены, либо что-то включить заранее (к своему приходу). Посредством интеллектуальной системы всего этого можно легко добиться, кроме того, система может присылать по запросу всю необходимую информацию о потреблении ресурсов. Возможна даже интеграция с общей инженерной сетью дома. И тогда нам уже не придется вписывать показания наших счетчиков, «Умная квартира» как хорошая хозяйка, все сделает сама.

Система освещения в умной квартире.

В современных квартирах уже сложно найти комнату, в которой бы использовался только один источник света. Удобно, когда под различные нужды можно использовать различные источники света. Но, чем больше групп освещения, тем

больше и выключателей, и как следствие сложнее управление. «Умная квартира» с интеллектуальной системой призвана решить эту проблему. С помощью различных датчиков и выключателей, а также посредством центральных модулей система освещения может с легкостью изменяться. Можно создавать различные сценарии освещения: ночной, экономный, максимальное освещение и т.д.

Никаких проводов в умной квартире.

Система «умный дом» соединяет устройства в сеть по средствам радиоканала, что существенно упрощает монтажные работы. Не нужно заранее думать о том, как проложить провода для будущей системы. Отсутствие проводов особенно удобно при реконструкции старых помещений. Или просто если у в квартире уже сделан хороший ремонт, не нужно думать о проводах и местах, куда их удобнее протянуть. С интеллектуальной системой все гораздо проще и удобнее.

Конечно, многим может не понравиться, что в их доме будут постоянные источники радиосигналов, кому хочется лишний раз подвергаться воздействию магнитных полей. Поэтому интеллектуальная система разработана с учетом минимизации влияния беспроводной связи на самочувствие человека. Система использует частотный диапазон 868 МГц. Устройства, осуществляющие передачу на таких частотах, работают не более 36 секунд в час при коммуникации с другими приборами. Это означает, что воздействие беспроводной связи в многоквартирном доме, который оборудован интеллектуальной системой, в течение 15 лет равносильно воздействию при разговоре по сотовому телефону в течение одной минуты (в зависимости от качества приема).

Выводы

С помощью интеллектуальной системы каждый может сделать свой дом или квартиру «умными». «Умный дом» в наше время представляет собой комплекс оборудования, совместно работающего с техническим оснащением, которые призваны облегчать жизнь и экономить на энергозатратах.

Внедрение подобных системы позволяет достигнуть максимального удобства в управлении. Находясь в любом месте, при наличии интернета, можно знать обо всем, что происходит дома.

Автоматизация и интеллектуализация дома или квартиры с помощью системы «умный дом» позволяет:

- снизить эксплуатационные расходы;
- обеспечить комфорт проживающим;
- снизить издержки при возникновении чрезвычайных и внештатных ситуаций.

На сегодняшний день есть возможность формировать систему «умный дом» с учетом только необходимых компонентов и функций, благодаря чему можно создавать системы невысокой стоимости.

Список использованных источников

1. Умный дом — маркетинговый исследование российского рынка: текущее состояние и прогноз развития. URL: <http://www.directinfo.net> (10.01.2014)
2. Маркетинговое исследование российского рынка систем «интеллектуализации» зданий. – М.: Маркетинговая группа «Текарт», 2015. – с. 13-14.
3. Марк Э. С. Практические советы и решения по созданию умного дома. НТ Пресс, 2007. – 432 с.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

*Сборник материалов докладов и сообщений заочной
студенческой научно-практической конференции
26 мая 2021 года*

*Технический редактор
В.В. Чебоксаров*

Изд. № 125/2021. Объем 30,5 п. л. Усл. печ. л. 28,36. Уч.-изд. л. 29,89.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»