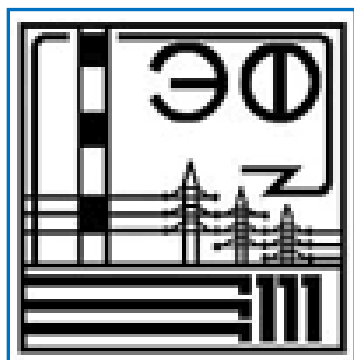


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический  
университет

Энергетический факультет

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**



**Материалы 71 – й  
научно – технической конференции  
студентов и аспирантов**

*Электронное издание*

**Минск 2015**

УДК 621.311  
ББК 31 я 43  
А 43

### **Р е ц е н з е н т**

Зав. кафедрой «Электротехника»  
УО БГАТУ, доцент, к.т.н. *В.А. Ковалёв*

В сборник включены материалы 71–й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ по секциям: «Электрические станции»; «Электрические системы»; «Электроснабжение»; «Тепловые электрические станции»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электротехника и электроника»; «Экономика и организация энергетики».

Белорусский национальный технический университет.

Энергетический факультет.

пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73

E-mail: ef@bntu.by

<http://www.bntu.by/ef.html>

Регистрационный № ЭИ БНТУ/ ЭФ39-52.2015

# СОДЕРЖАНИЕ

- [Секция 1 «Электрические станции»](#)
- [Секция 2 «Электрические системы»](#)
- [Секция 3 «Электроснабжение»](#)
- [Секция 4 «Тепловые электрические станции»](#)
- [Секция 5 «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»](#)
- [Секция 6 «Электротехника и электроника»](#)
- [Секция 7 «Экономика и организация энергетики»](#)

## СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

#### ЩИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЧЕБОТАРЬ А.О., МАХНАЧ Д.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ИНЖЕНЕР КИСЛЯКОВ А.Ю.

#### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

МАСЛОВСКИЙ В.И., ВИШЕВСКАЯ М.М., СОКОЛОВ В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ ПОТАЧИЦ Я.В.

#### СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

КАБАК С.И., ХОМЯКОВА А.П.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ДЕРЮГИНА Е.А.

#### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИЙ

ВРУБЛЕВСКИЙ М.Д., МАМОНЧИК А.Н., КАТРИЧ А.Е.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ БЫЧКОВ М.М.

#### ЭКСПЛУАТАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ЛАШАКОВ А.А., ПЫЛИНСКАЯ Е.Р.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГУБАНОВИЧ А.Г.

#### ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ АГРЕГАТОВ 800 – 1600 МВТ

КОВАЛЁВ А.В., ДУДАРЕВ А.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

#### КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

ХРУЩЕВ Р.И., ДУНЧЕНКО Д.А., МАМОНЧИК А.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ДЕРЮГИНА Е.А.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ УСТАНОВКИ МЕЖДУФАЗНЫХ РАСПОРОК ТИПОВЫХ ОРУ

РУДАК М.С., ЛУКЬЯНЮК М.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

#### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТОКОПРОВОДОВ 6 – 10 КВ ДЛЯ КРУ

КОРОЛЬ Д.Ю., АНДРЕЕВ А.Ф.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ БУЛАТ В.А.

#### УСТАНОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

ГЕФТЕР М.В., ПЫЛИНСКАЯ Е.Р.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ БУЛАТ В.А.

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

РУБЛЕВСКИЙ Е.В., ГАПАНОВИЧ А.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГУБАНОВИЧ А.Г.

**КАБЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Мышковский Д.Г., Хомякова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Рымкевич Л.П., Алейник В.С., Баран А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

**ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Герасимов Е.О., Федоров Д.С., Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.М. Силюк

**ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Кулик Д.А., Водопьянова А.А., Будников В.В.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ**

Мухин Р.А., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

Ефременко А.А., Тукай П.А.

Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

**ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Юшкевич А.М., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫБОРА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ**

Карпилович А.В., Киселев П.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

**МОЛНИЕЗАЩИТА**

Остроушко Г.А., Сарыев А.Н., Катрич А.Е., Дунченко Д.А.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

**СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ**

Олипа А.С., Баран А.Г.

Научный руководитель – инженер Андрукевич А.П.

**ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ РЕАКТОРОВ**

Дурдымырадов К.Г., Свитин М.В., Олипа А.С., Лапко Д.А.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ**

Голотин И.А., Францевич Р.Г., Махнач Д.Н.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Дроздов А.А., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

### ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Бабаханов А.М., Джуманазаров К.Ч., Шпаковский А.А., Баран А.Г.  
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

### АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Францевич Р.Г., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.

### СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.  
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

### ПРОГРАММА РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Башаркевич Я.В.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

### ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Балухо А.Д., Середа Ю.Д., Дударев А.В.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ 1200 МВТ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Ивченко А.С., Малиновский П.С.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

### МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Хомич В.В., Сивый А.И., Бобрик Е.В., Ермола Д.С.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

### ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Ерохов Е.Л., Башаркевич Я.В.  
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Башаркевич Я.В., Васильева А.А., Плешко Д.Ю.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Баран А.Г.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

УДК 621.3

## ЩИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Чеботарь А.О., Махнач Д.Н.

Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

Щит постоянного тока ЩПТ предназначен для приёма и распределения электрической энергии собственных нужд постоянного тока от аккумуляторной батареи номинальным напряжением 110; 220 В. Устанавливается на станциях, котельных, подстанциях до 220 кВ и других объектах энергетики. Главная схема ЩПТ – две секции с неавтоматическим секционированием, с вводом от аккумуляторной батареи.

ЩПТ состоит из панели ввода питания и панелей отходящих присоединений (1-я и 2-я секция).

ЩПТ имеет четыре, а при наличии шкафов оперативного постоянного тока (ШРОТ) и более секций. При наличии четырех вводов питания и отключенных секционных выключателях в работе всегда остаются неповрежденные секции. При этом всегда сохраняется питание комплектов защит и соленоидов отключения выключателей для ликвидации аварийной ситуации.

Наиболее ответственными потребителями оперативного тока являются цепи защиты, автоматики и электромагнитов силовых выключателей в распределительных устройствах станций и подстанций, крупных распределительных пунктах и распределительных устройствах предприятий. Исторически сложилось так, что указанные цепи в основном работают на постоянном оперативном токе. Обеспечение бесперебойного питания оперативных цепей в любой момент времени с необходимым уровнем напряжения и мощности независимо от состояния основной сети, возможно только в случае применения в качестве источника оперативного тока стационарных аккумуляторных батарей, являющихся одним из самых надёжных источников оперативного тока.

ЩПТ обязан изготавливаться согласно МЭК 22789 и требований «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 750 кВ, СТО56947007–29.240.10.028–2009» ОАО «ФСК ЕЭС».

ЩПТ-220-Э1-У3.1 выполняет следующие функции:

- ввод электроэнергии с необходимым уровнем напряжения и мощности независимо от состояния основной сети от аккумуляторных батарей (АБ) с подзарядкой от выпрямительных устройств (ВУ);
- распределение электроэнергии между потребителями;
- бесперебойное питание цепей аварийного освещения;
- организация шинок для питания потребителей, шинок управления, сигнализации и «мигающего света»;
- селективная защита вводов и отходящих линий от токов перегрузки и короткого замыкания;
- управление независимыми расцепителями;
- дублирование системы питания и распределения электроэнергии с секционированием шин;
- непрерывный автоматический контроль напряжения на шинах ЩПТ с формированием сигнала об отклонении напряжения от номинального значения;
- непрерывный автоматический контроль сопротивления изоляции сети постоянного тока относительно земли с формированием сигнала о снижении сопротивления изоляции ниже допустимого уровня;
- автоматический поиск и сигнализация замыканий на землю каждого присоединения;
- формирование обобщенного аварийного сигнала при срабатывании защиты и в случае отсутствия питания цепей защиты;

- локальная и центральная сигнализации (сигнализация положения автоматических выключателей, отключение вводных автоматических выключателей);
- измерение основных параметров АБ аналоговыми измерительными приборами. NEVACAD.

ЩПТ-220-Э1-У3.1 производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51321.1 и постоянно совершенствуется с учетом нижеследующих требований:

- простой и лёгкий монтаж;
- минимальное обслуживание;
- возможность дополнительного расширения конструкций;
- соответствие требованиям международных стандартов;
- высокая надёжность работы;
- высокая степень защиты персонала.

ЩПТ-220-Э1-У3.1 представляет собой щит одностороннего обслуживания в металлическом корпусе с воздушной изоляцией. Приборы контроля тока, напряжения, уровня изоляции, переключатели, автоматические выключатели, стационарный комплект устройства автоматического поиска и сигнализации замыканий на землю, панель индикации расположены на лицевой панели ЩПТ-220-Э1-У3.1.

Каркас ЩПТ-220-Э1-У3.1 состоит из профилей, изготовленных из 2 мм горячекатаного листа с алюминиево-цинковым покрытием. Профили каркаса соединяются угловыми фиксаторами, обеспечивая прочную и надёжную конструкцию.

Двери и наружные панели изготавливаются из листовой стали толщиной 2 мм. Конструктивное исполнение этих элементов, а также уплотнительная резина, устанавливаемая по периметру, обеспечивают степень защиты до IP 54.

Металлоконструкции выполняются на базе НКУ ЩО-2000 «Нева», которое может быть использовано совместно с ЩПТ-220-Э1-У3.1 в качестве щита собственных нужд. Данное решение упрощает работу персонала, так как эксплуатируется однотипное оборудование.



УДК 621.3

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

Масловский В.И., Вишевская М.М., Соколов В.В.  
Научный руководитель – ассистент Потачиц Я.В.

Расчет токопроводов при статической нагрузке производят с целью проверки их устойчивой работы при коротких замыканиях (КЗ). Известно, что электрические токи взаимодействуют. Силы взаимодействия проводников с током называют электромагнитными или электродинамическими. Они пропорциональны квадрату тока и достигают наибольших значений при коротких замыканиях.

Действию электродинамических сил подвержены все элементы электрических систем, в том числе токопроводы и электрические аппараты. Последние должны обладать достаточной механической прочностью, чтобы противостоять действию электродинамических сил при КЗ. Под электродинамической стойкостью понимают способность аппаратов или проводников выдерживать механические усилия.

При проверке проводников и электрических аппаратов электроустановок на электродинамическую и термическую стойкость при КЗ предварительно должны быть выбраны расчетные условия КЗ.

В качестве расчетного вида КЗ следует принимать при проверке жестких проводников с относящимися к ним поддерживающими и опорными конструкциями на электродинамическую стойкость трехфазное КЗ.

Токопроводом (ТП) называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, поддерживающих и опорных конструкций. В качестве проводников используют трубы, а также проводники прямоугольного и корытного сечений.

Многопролетный токопровод с жесткими проводниками представляет собой упругую систему, которая при КЗ под действием электродинамических сил приходит в сложное колебательное движение.

Проводники изгибаются и передают нагрузку на опоры, обладающие также некоторой упругостью. В материале проводников и изоляторов возникают значительные напряжения.

Токопровод должен противостоять электродинамическим воздействиям. Расчет токопровода с заданными параметрами на электродинамическую стойкость состоит в определении максимальной мгновенной нагрузки на изоляторы и максимального мгновенного напряжения в проводниках в переходном колебательном процессе.

Анализ частотных характеристик, показывает, что важнейшим параметром ТП, определяющим его электродинамическую стойкость, является основная частота собственных колебаний проводника. Поэтому эта частота должна быть принята в качестве независимого параметра для упрощенного расчета.

Для ТП с жесткими опорами основная частота может быть легко определена, тогда как для ТП с упругими опорами необходима сложная программа для ЭВМ. Однако в этом нет необходимости, поскольку обычно применяемые ТП могут рассматриваться как конструкции с жесткими опорами.

В токопроводах напряжением 110 кВ и выше основная частота проводников не превышает 10 Гц и опоры обладают некоторой упругостью, которая должна быть учтена при расчете.

Характеристики, учитывающие упругость опор, являются функциями только основной частоты проводников. В основу их построения положены известные частотные характеристики для крайних проводников А и С однопролетных ТП с жесткими опорами.

Допустимая нагрузка на изоляторы при КЗ принимается согласно ПУЭ равной 60 % минимальной разрушающей нагрузки.

Допустимое напряжение в материале проводников согласно ПУЭ принимается равным 70 % временного сопротивления.

Поведение ТП с гибкими проводниками при КЗ было изучено экспериментально. Были разработаны методы расчета. Они достаточно сложны и здесь не изложены. Мы ограничиваемся рассмотрением графиков, определяющих зависимости отклонений и тяжений проводников от параметров ТП, тока КЗ и других условий. Эти графики могут быть использованы при проектировании для правильного выбора основных размеров ТП в целях повышения их электродинамической стойкости.

Токопроводы применяют для питания крупных потребителей, передачи электроэнергии от электростанции или главной понижающей подстанции при напряжении 6, 10 или 35 кВ к основным цехам предприятия, подсоединения генераторов и трансформаторов большой мощности к сборным шинам РУ, а также для соединения их между собой при работе по схеме блока генератор – трансформатор.

Преимущества токопроводов по сравнению с кабельными связями:

- замена дефицитных кабелей алюминиевыми шинами и изолированными проводами;
- повышение надежности вследствие отсутствия больших потоков кабелей и большого числа кабельных муфт;
- улучшение условий эксплуатации;
- облегчение условий наблюдения за электроустановкой и устранения неисправностей;
- обеспечение высокого уровня монтажных работ;
- существенное снижение стоимости (жесткие токопроводы дешевле кабельных линий такой же пропускной способности более чем в 2 раза).

На электростанциях для соединения мощных генераторов с трансформаторами и трансформаторов с шинами РУ применяют экранированные токопроводы, отдельные для каждой фазы.

Внутри производственных помещений токопроводы выше 1000 В применяют редко и только в закрытом или пыленепроницаемом исполнении, а в помещениях сырых и особо сырых – в брызгозащищенном исполнении.

Прокладка открытых токопроводов выше 1000 В в производственных помещениях не допускается.

На мощных тепловых станциях для соединения генераторов с повышающими трансформаторами широко применяются комплектные пофазнэкранированные токопроводы.

К недостаткам токопроводов относят:

- большее индуктивное сопротивление, что приводит к дополнительным потерям напряжения;
- сопротивления фаз различны, что приводит к несимметрии напряжения фаз протяженных токопроводов при токах 2,5 кА и более;
- дополнительные потери электроэнергии в шинодержателях, арматуре и конструкциях при токах 1 кА и более от воздействия магнитного поля;
- следует считаться и с укрупнением единичной мощности токопровода по сравнению с несколькими кабельными линиями.

Для увеличения надежности токопроводы применяются, как правило, состоящими из двух линий с секционированием и автоматическим включением резерва.

Более экономичны гибкие и жесткие токопроводы с расположением фаз в вершинах равностороннего треугольника по сравнению с токопроводами с вертикальным или горизонтальным расположением фаз за счет взаимной компенсации магнитных полей фаз; такие токопроводы являются симметричными.

Жесткие токопроводы более компактны, чем гибкие, имеют разнообразное крепление к поддерживающим конструкциям.

УДК 621.3

## СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Кабак С.И., Хомякова А.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

Кабель силовой предназначен для передачи электрической энергии от различных источников к потребителям. Бывает кабели низкого и высокого напряжения. В зависимости от целей использования силового кабеля различается и его конструкция.

Современные кабели производятся с изоляцией из сшитого полиэтилена и используются в сетях различного класса напряжения. Применение сшитого полиэтилена обеспечивает высокие диэлектрические свойства изоляции, высокие механические свойства, более высокие по сравнению с бумажно-масляной изоляцией термические режимы, надёжность и долговечность кабелей.

К этому классу относятся кабели на напряжение 6, 10, 35, 110, (150), 220, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых странах СНГ. Напряжения 150 и 380 кВ используются в отдельных случаях. Кабели предназначены для передачи крупных мощностей электроэнергии (60 – 620 МВ·А) на указанных напряжениях. Области применения кабелей следующие:

- глубокие вводы к центрам потребления электроэнергии в условиях крупных городов (применяются кабели на напряжение 110 – 220 кВ для питания районных городских подстанций);
- выводы мощности с крупных гидро- и тепловых электростанции преимущественно при напряжениях 220 и 500 кВ;
- питание энергоёмких производственных комплексов (автозаводы, металлургические и химические предприятия).

К электрической изоляции кабелей высокого напряжения предъявляются высокие требования в части электрической прочности, высокой надёжности в течение длительных сроков службы (35 и более лет). Напряженности электрического поля в изоляции таких кабелей составляют от 7 до 15 кВ/мм, то есть являются наиболее высокими по сравнению с напряженностями поля в любых электротехнических аппаратах и устройствах. Напряженность электрического поля является одним из главных параметров, обеспечивающих приемлемые конструктивные размеры (диаметры) кабелей. Высокие рабочие напряженности электрического поля ставят серьезные научно-технические проблемы с точки зрения обеспечения высокого ресурса работы кабелей. Эти проблемы успешно решены для двух видов электрической изоляции кабелей: бумажно-пропитанной, работающей под избыточным давлением масла (маслонаполненные кабели – МНК) и из сшитого ПЭ с применением соответствующих технологий, обеспечивающих чистоту и требуемое качество изоляции.

В газонаполненных кабелях увеличение электрической прочности изоляции кабелей реализуется за счет повышения давления в газовых включениях, находящихся в бумажной изоляции. Они устроены таким образом, что в кабель подводится чистый сухой газ под давлением. Величина давления определяется особенностями конструкции кабеля и условиями его прокладки и находится в пределах от 0,7 до 3,0 МПа.

В зависимости от конструкции кабеля сжатый газ может поступать либо непосредственно в изоляцию кабеля, либо не иметь непосредственного соприкосновения с изоляцией, а передавать давление на изоляцию через специальную мембрану. Если газ под давлением непосредственно подается в изоляцию, то для изолирования кабеля могут применяться либо бумажные ленты с последующей сушкой, пропиткой изоляции и удалением излишек пропиточного состава (обеднено-пропитанная изоляция), либо предварительно пропитанные бумажные ленты. Если сжатый газ непосредственно не

соприкасается с изоляцией, то кабель изолируется бумажными лентами с последующей пропиткой вязким составом или жидким маслом, а поверх изоляции на кабель наносят пластмассовую оболочку, которая играет роль мембраны.

Маслонаполненные кабели (МНК) с бумажно-масляной изоляцией остаются пока наиболее распространенными кабелями высокого напряжения. При этом, чем выше класс номинального напряжения кабелей, тем больше удельный вес МНК среди всех кабелей высокого напряжения.

МНК применяются для электроснабжения городов и крупных потребителей энергии, для вывода мощности с тепловых станций и гидроэлектростанций, а также для передачи электроэнергии через труднопроходимые местности (водные пространства, горные районы и др.). Основные типы конструкций силовых МНК – кабели низкого давления (до 3–5 атм.) в свинцовой или алюминиевой оболочке на номинальное напряжение 110, 150 и 220 кВ и кабели высокого давления в стальном трубопроводе на номинальное напряжение 110, 220, 330, 380 и 500 кВ. Повышение давления масла приводит к увеличению электрической прочности бумажно-масляной изоляции и к возможности применения силовых МНК при более высокой рабочей напряженности электрического поля в изоляции кабелей (до 15 кВ/мм и более).

УДК 621.3

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИЙ

Врублевский М.Д., Мамончик А.Н., Катрич А.Е.  
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Электростанция – электрическая станция, совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определённой территории.

Грозозащита – это обязательная часть любого здания. Без системы молниезащиты (грохозащиты) здание и соответственно, люди и имущество, находящиеся в нем, беззащитны перед ударом стихии. Молниезащита объектов нужна для защиты от прямого удара молнии в здание, защиты от вторичных её проявлений, таких как перенапряжения (наводки, возникающие в электрических цепях при грозовом разряде), проще говоря, для того, чтобы сберечь вашу жизнь и имущество.

Оборудование подстанции (ПС) надежно защищается от прямых ударов молнии системой молниеотводов, у которых обеспечено малое импульсное сопротивление заземления, что исключает обратные перекрытия на электрооборудование. Повреждаемость изоляции электрооборудования ПС от воздействия на нее грозовых перенапряжений зависит от частоты появления набегающих с присоединенной воздушной линии (ВЛ) волн грозовых перенапряжений и работоспособного состояния ограничителя перенапряжений нелинейного (ОПН). Набегающая по ВЛ на ПС грозовая волна может образовываться вследствие ударов молнии непосредственно в ВЛ (трос, провод) и при близких к ВЛ ударах молнии в наземные сооружения.

Причиной возникновения на подстанции опасных перенапряжений от набегающих волн являются грозовые поражения ВЛ электропередачи. При ударе молнии в линию на проводах ВЛ образуется волна напряжения, движущаяся в сторону подстанции. Амплитуда такой волны ограничена импульсной прочностью линейной изоляции.

Приход волны напряжения на подстанцию приводит к возникновению волнового переходного процесса, в результате которого на изоляции электрооборудования могут возникнуть опасные перенапряжения. Поэтому для защиты изоляции оборудования применяются ОПН, пришедшие на смену вентильным разрядникам (РВ). Серийный выпуск РВ прекращен в России, но в эксплуатации находится еще много таких устройств.

Ограничители перенапряжений нелинейные с нелинейными резисторами (варисторами) предназначены для защиты от коммутационных и грозовых перенапряжений изоляции электрооборудования. Отсутствие искрового промежутка обеспечивает постоянное подключение ОПН к защищаемому оборудованию. Защитные свойства ОПН обусловлены вольтамперной характеристикой варисторов. Микроструктура варисторов включает в себя кристаллы оксида цинка и междукристаллической прослойки. В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель носит емкостной характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении в сети перенапряжений сопротивление ОПН резко падает до единиц, варисторы ограничителя переходят в проводящее состояние и ограничивают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемого электрооборудования, поглощая энергию импульса перенапряжения, которая преобразуется в тепловую энергию и затем рассеивается в окружающую среду. Когда волна перенапряжения проходит, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние. Время перехода ограничителя в проводящее состояние составляет единицы наносекунд, что позволяет ОПН эффективно ограничивать высокочастотные перенапряжения.

Уровень перенапряжений зависит от параметров ОПН и уменьшается в случае применения ОПН с меньшими остающимися напряжениями. Расчет грозовых перенапряжений в реальных схемах подстанций осуществляется с помощью численного

моделирования. Для исследования на расчетной модели нужно составить схему замещения подстанции, используя план подстанции с обозначением расстояний по ошиновке. Значения этих емкостей для основных видов электрооборудования класса напряжения 110 кВ.

Основным показателем надежности защиты от набегающих волн является среднее число лет безаварийной работы подстанционного электрооборудования. При проектировании защиты от грозовых перенапряжений экономически целесообразным оказывается не исключать полностью возможность появления перенапряжений, превышающих допустимые значения, а ограничиться малой вероятностью повреждения изоляции оборудования. Рекомендуемые показатели надежности грозозащиты наиболее дорогого и ответственного подстанционного оборудования (силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов) в зависимости от класса номинального напряжения подстанции.

Технико-экономический анализ показывает, что выполнить воздушные линии электропередачи абсолютно грозозащищенной нельзя. Приходится сознательно идти на то, что воздушные линии электропередачи какое-то ограниченное число раз в год будет отключаться. В задачу грозозащиты линий электропередачи входит снижение до минимума числа грозовых отключений. Допустимое число отключений воздушной линии электропередачи в год определяется из условий:

- надежного электроснабжения потребителей;
- надежной работы выключателей, коммутирующих воздушных линий электропередачи.

Ожидаемое число грозовых отключений линии в первую очередь определяется интенсивностью грозовой деятельности в районе прохождения трассы линии. Ориентируясь на средние цифры, принято считать, что на 1 км земной поверхности за один грозовой час приходится 0,067 удара молнии.

Процессы, протекающие на подстанции при воздействии набегающих с линии волн, кратковременны. Их длительность составляет десятки микросекунд, а максимальные перенапряжения возникают в течение нескольких микросекунд переходного процесса.

Длительности фронта воздействующих напряжений оказываются соизмеримыми с временами пробега волн по участкам ошиновки распределительного устройства, что приводит к необходимости учета волнового характера процессов при качественном анализе и в численном моделировании.

Метод бегущих волн, включая в себя правило эквивалентной волны, позволяет производить расчет схем содержащих ряд узлов.

При исследовании волновых процессов на подстанции необходимо учитывать отходящие от нее линии. В расчетной схеме замещения отходящая линия может быть представлена своим волновым сопротивлением. Это представление справедливо до тех пор, пока в начале линии не появится отраженная волна, то есть в течение двух времен пробега волны по отходящей линии.

При этом напряжение в начале линии относится к втекающему в нее току так же, как соотносятся друг с другом напряжение и ток падающей волны, то есть входное сопротивление линии определяется ее волновым сопротивлением.

Обычно время пробега волны по отходящей линии значительно больше характерных времен волнового процесса на подстанции, поэтому замещение отходящей линии волновым сопротивлением справедливо.

Участки ошиновок на подстанции в схеме замещения представить волновыми сопротивлениями нельзя, так как время пробега волны по ним в большинстве практических случаев меньше длительности фронта.

УДК 621.3

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Лашаков А.А., Пылинская Е.Р.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Губанович А.Г.

Все аккумуляторной батареи на электрических станциях и подстанциях должны работать в режиме постоянного подзаряда. Полностью заряженную аккумуляторной батареи необходимо включить на шины параллельно с постоянно работающим подзарядным агрегатом. Подзарядный агрегат питает нагрузку постоянного тока и одновременно подзаряжает батарею, компенсируя ее саморазряд. Концевые элементы также должны работать в режиме постоянного подзаряда. При включении мощной толчковой нагрузки, а также при потере питания подзарядного агрегата на стороне переменного тока аккумуляторная батарея берет на себя всю нагрузку сети постоянного тока. Для аккумуляторной батареи типа СК напряжение подзаряда должно соответствовать  $2,2 \pm 0,05$  В на аккумулятор. Для аккумуляторной батареи типа СН напряжение подзаряда должно соответствовать  $2,18 \pm 0,04$  В на аккумулятор при окружающей температуре не выше  $35^{\circ}\text{C}$  и если эта температура выше  $-2,14 \pm 0,04$  В. Необходимые конкретные значения тока и напряжения не могут быть заданы заранее. Необходимо установить и поддерживать среднее значение напряжения подзаряда и вести за батареей наблюдение. Снижение плотности электролита в большинстве аккумуляторов свидетельствует о недостаточности тока подзаряда. При этом, как правило, необходимое напряжение подзаряда оказывается  $2,25$  В для аккумуляторов СК и не ниже  $2,2$  В – для аккумуляторов СН.

Режим заряда может производиться при постоянной силе тока, при плавно убывающей силой тока, при постоянном напряжении. Метод заряда устанавливается местной инструкцией. Заряд при постоянной силе тока необходимо производить в одну или две ступени. При двухступенчатом заряде зарядный ток первой ступени не должен превышать для аккумуляторов СК  $0,25 \cdot C_{10}$ , для аккумуляторов СН  $0,2 \cdot C_{10}$ . При повышении напряжения до  $2,3 - 2,35$  В на аккумулятор заряд переводится на вторую ступень, ток заряда при этом должен быть не более  $0,12 \cdot C_{10}$  для аккумуляторов СК, для аккумуляторов СН –  $0,05 \cdot C_{10}$ . При одноступенчатом заряде ток заряда не должен превышать значения, равного  $0,12 \cdot C_{10}$  для аккумуляторов СК и СН. Заряд таким током аккумуляторов СН допускается только после аварийных разрядов. Заряд ведется до постоянства напряжения и плотности электролита в течение одного часа для аккумуляторов СК, для аккумуляторов СН – двух часов. Заряд плавно убывающей силой тока аккумуляторов СК и СН проводят при начальном токе, не превышающем  $0,25 \cdot C_{10}$  и конечном токе, не превышающем  $0,12 \cdot C_{10}$ . Признаки окончания заряда такие же, как для заряда при постоянной силе тока. Заряд при постоянном напряжении необходимо производить в одну или две ступени. Заряд в одну ступень производится при напряжении  $2,15 - 2,35$  В на аккумулятор. При этом начальный ток может значительно превышать значение  $0,25 \cdot C_{10}$ , но затем он автоматически снижается ниже значения  $0,005 C_{10}$ . Заряд в две ступени производится на первой ступени током, не превышающим  $0,25 \cdot C_{10}$  до напряжения  $2,15 - 2,35$  В на аккумулятор, а затем при постоянном напряжении от  $2,15$  до  $2,35$  В на аккумулятор. Заряд аккумуляторной батареи с элементным коммутатором необходимо производить в соответствии с местной инструкцией. При заряде при постоянной силе тока или плавно убывающей силой тока напряжение в конце заряда может достигать  $2,6 - 2,7$  В на аккумулятор и заряд сопровождается сильным «кипением» аккумуляторов, что вызывает более усиленный износ электродов. На всех зарядах аккумуляторам должно быть сообщено не менее  $115\%$  емкости от снятой на предыдущем разряде. Во время заряда необходимо проводить измерения напряжения, температуры и плотности электролита аккумуляторов. Перед включением, через  $10$  мин после включения и по окончании заряда перед отключением зарядного агрегата необходимо измерить и записать параметры каждого аккумулятора, а в процессе заряда – контрольных

аккумуляторов. Записывается также ток заряда, сообщаемая емкость нарастающим итогом и дата заряда. Температура электролита при заряде аккумуляторов СК не должна превышать 40°C. При температуре 40°C Зарядный ток должен быть снижен до значения, обеспечивавшего указанную температуру. Температура электролита при заряде аккумуляторов СН не должна превышать 35 °С. При температуре выше 35 °С заряд проводится током, не превышающим  $0,05 \cdot C_{10}$ , а при температуре выше 45°C – током  $0,025 \cdot C_{10}$ . При зарядах аккумуляторов СН постоянной или плавно убывающей силой тока необходимо снять вентиляционные фильтр-пробки.

Одинаковый ток подзаряда даже при оптимальном напряжении подзаряда батареи из-за различий в саморазряде отдельных аккумуляторов может быть недостаточным для поддержания всех аккумуляторов в полностью заряженном состоянии. Для приведения всех аккумуляторов СК в полностью заряженное состояние и для предотвращения сульфатации электродов должны проводиться уравнивательные заряды напряжением 2,3 – 2,35 В на аккумулятор до достижения установившегося значения плотности электролита во всех аккумуляторах  $1,2 - 1,21 \text{ г/см}^3$  при температуре 20 °С. Частота проведения уравнивательных зарядов аккумуляторов и их продолжительность зависят от состояния батареи и должны быть не реже одного раза в году; продолжительностью не менее 6 ч. На тех аккумуляторной батареи, где по условиям работы электроустановки напряжение подзаряда может поддерживаться лишь на уровне 2,15 В на аккумулятор уравнивательные заряды необходимо проводить ежеквартально. При снижении уровня электролита до 20 мм над предохранительным щитом аккумуляторов СН следует произвести доливку воды и уравнивательный заряд для полного перемешивания электролита и приведения всех аккумуляторов в полностью заряженное состояние. Уравнивательные заряды проводится при напряжении 2,25 – 2,4 В на аккумулятор до достижения установившегося значения плотности электролита во всех аккумуляторах  $1,240 \pm 0,005 \text{ г/см}^3$  при температуре 20 °С и уровне 35–40 мм над предохранительным щитком. Продолжительность уравнивательного заряда ориентировочно составляет от 5 до 30 суток. Если в аккумуляторной батарее имеются единичные аккумуляторы с пониженным напряжением и сниженной плотностью электролита (отстающие аккумуляторы), то для них может проводиться дополнительный уравнивательный заряд от отдельного выпрямительного устройства. Аккумуляторные батареи, работающие в режиме постоянного подзаряда, в нормальных условиях практически не разряжаются. Они разряжаются только в случаях неисправности или отключения подзарядного устройства, в аварийных условиях или при проведении контрольных разрядов. Отдельные аккумуляторы или группы аккумуляторов подвергаются разряду при проведении ремонтных работ или при устранении неисправностей в них. Для аккумуляторных батарей на электростанциях и подстанциях расчетная длительность аварийного разряда устанавливается равной 1,0 или 0,52. При разряде батареи токами меньшими разрядами в течение 10 ч разряда не допускается определять окончание разряда только по напряжению.

Конец разряда определяется из следующих условий:

- снижение плотности электролита до значения  $1,15 \text{ г/см}^3$ ;
- снижение напряжения до значения не менее 1,8 В;
- снятие емкости после 10-часового режима.

Контрольные разряды необходимо выполнять для определения фактической емкости аккумуляторной батареи производить десяти- или трехчасовым режимом разряда. На тепловых электростанциях контрольный разряд батарей должен выполняться один раз в один – два года. На гидроэлектростанциях и подстанциях разряды должны выполняться по мере необходимости. В тех случаях, когда число аккумуляторов недостаточно, чтобы обеспечить напряжение на шинах в конце разряда в заданных пределах, допускается осуществлять разряд части основных аккумуляторов. Перед контрольным разрядом необходимо провести уравнивательный заряд батареи. Результаты измерений необходимо сравнить с результатами измерений предыдущих разрядов. Для более правильной оценки состояния батареи необходимо, чтобы все контрольные разряды данной батареи проводились в одном и том же



режиме и заносились в журнал аккумуляторной батареи. Перед началом разряда необходимо фиксировать дату разряда, напряжение, плотность каждого электролита и температуру в контрольных аккумуляторах. При разряде на контрольных и отстающих аккумуляторах следует произвести измерения напряжения, температуры и плотности электролита.

Электроды в аккумуляторах должны быть всегда полностью погружены в электролит. Уровень электролита в аккумуляторах СК необходимо поддерживать на 1,0–1,5 см выше верхнего края электродов. При понижении уровня электролита требуется производить доливку аккумуляторов дистиллированной водой, проверенной на отсутствие содержания хлора и железа. Допускается использование парового конденсата. Вода может подаваться в придонную часть бака через трубку или в верхнюю его часть. В последнем случае рекомендуется провести подзаряд батареи с «кипением» для выравнивания плотности электролита по высоте бака. Доливки электролитом плотностью 1,18 г/см<sup>3</sup> аккумуляторов с плотностью электролита ниже 1,20 г/см<sup>3</sup> можно производить только при выявлении причин понижения плотности. Уровень электролита в аккумуляторах СП должен быть в пределах от 20 до 40 мм над предохранительным щитком. Если доливка производится при снижении уровня до минимального, то необходимо провести уравнильный заряд.

УДК 621.3

## ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ АГРЕГАТОВ 800 – 1600 МВТ

Ковалёв А.В., Дударев А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

Основу мощных энергосистем составляют крупные электростанции (КЭС, АЭС, ТЭЦ, ГЭС). Блочные агрегаты большой мощности применяются на ТЭС и АЭС. В состав таких блоков входят генераторы, мощность которых достигает 800 – 1600 МВт. Для включения и отключения генераторов в их цепях устанавливаются генераторные выключатели.

В цепях генераторов выключатели устанавливаются в случае присоединения их к сборным шинам генераторного напряжения. По ПУЭ в блочных схемах требуется устанавливать выключатели, если генераторы соединяются с трехобмоточными трансформаторами или автотрансформаторами, в укрупненных и обобщенных блоках, а также в случае, если отпайкой от блока питается нагрузка на напряжении 6 – 10 кВ. Сегодня установка генераторных выключателей между генератором и блочным трансформатором обязательна.

Для применения на электростанциях всех видов шведско-швейцарская фирма АВВ разработала генераторные выключатели и генераторные распределительные устройства типов НЕСС и НЕС. В дугогасительной камере выключателей элегаз используется как для гашения дуги, так и для обеспечения внутренней изоляции. Внешняя изоляция – воздушная. Для отключения тока используется сочетание принципов автодутья и поршневого дутья; конструкция оптимизирована с целью существенного снижения энергии привода. Принцип автодутья позволяет достигнуть большую отключающую способность, а также отключение небольших индуктивных токов почти без перенапряжений. Для генераторов большой мощности (100МВт и выше) изготавливаются генераторные комплексы – генераторные распределительные устройства, которые содержат выключатель, разъединитель, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжения (ОПН). Разъединитель последовательно соединен с выключателем. Он установлен со стороны трансформатора в том же кожухе и имеет телескопически перемещающуюся трубу. Заземлитель может быть установлен с одной или обеих сторон выключателя. Заземлитель и его соединения предназначены для защитного заземления, то есть он рассчитан на полный аварийный ток, но не обладает включающей способностью и способностью длительного пропускания тока.

Выключатели фирмы АВВ имеют гидропружинный привод, который соединяет преимущества гидравлического привода и аккумулирования энергии в пружинах. Аккумулирование энергии происходит здесь с помощью комплекта тарельчатых пружин, который гарантирует долговременную стабильность, безотказность и устойчивость к изменению температуры. Для срабатывания механизма привода и освобождения энергии пружин используются клапаны управления.

Трансформаторы тока с тороидальными сердечниками можно установить с одной или двух сторон выключателя. В зависимости от требуемого класса и мощности можно установить до трех на один трансформатор. Вторичные обмотки постоянно соединены с клеммами в шкафу управления. Однофазный измерительный трансформатор напряжения в корпусе из герметизирующей смолы можно установить с одной или двух сторон выключателя. Для защиты от перенапряжений применяется металлооксидный разрядник, который можно установить со стороны трансформатора для защиты трансформатора и генератора. Конденсаторы для защиты от перенапряжений установлены с обеих сторон выключателя и обеспечивают добавочную защиту от перенапряжений, а также способствуют гашению дуги в выключателе, ограничивая переходное восстанавливающееся напряжение.

Для агрегатов 800 МВт и выше производит генераторные выключатели французская фирма AREVA. Здесь применяется элегазовый выключатель FKG1. Принцип гашения дуги

такой же, как у выключателей АВВ. В указанном выше выключателе используется полностью пружинный привод. Преимущества привода: высокая надежность; простой принцип функционирования; максимальная энергетическая стабильность в течение десятилетий; минимальные затраты на обслуживание.

Применение генераторных выключателей (ГВ) влияет на технический уровень применяемых схем собственных нужд станции, обеспечивает существенное повышение надежности работы блоков и электростанции в целом: обеспечивается возможность синхронизации генератора с сетью посредством ГВ, представляется возможным применять более экономичные схемы электрических соединений с использованием укрупненных трансформаторов, обеспечивается возможность применения рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд одинаковой мощности.

УДК 621.3

**КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

Хрущев Р.И., Дунченко Д.А., Мамончик А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

Всякая электрическая система обладает колебательными свойствами, однако в нормальном режиме работы эти колебательные свойства обычно не проявляются. Колебательные свойства электрической системы, которые могут вызвать появление перенапряжений, проявляются при нарушении баланса между генерируемой и поглощаемой энергией. Причиной нарушения баланса может явиться внезапное отключение элементов, способных поглощать энергию (активной нагрузки, сосредоточенных и распределенных сопротивлений и проводимостей схемы).

Внутренние перенапряжения при коммутациях имеют только переходный характер, т. е. являются коммутационными. Величины, числом характеризующие внутренние перенапряжения, оказываются зависимыми от ряда случайных обстоятельств: от схемы сети, ее режима, ее параметров, от наличия средств борьбы с перенапряжениями и эффективности этих средств, а также от некоторых других факторов. Поэтому количественные характеристики внутренних перенапряжений оказываются величинами случайными, требующими при их рассмотрении привлечении методов математической статистики.

Практически каждая коммутация линии сопровождается возникновением переходных процессов, которые могут привести к перенапряжениям. Наиболее высокие напряжения возникают, если от предшествующего режима работы на линии осталось напряжение противоположной полярности, а включение происходит в момент положительного максимума

Существует ряд мер, направленных на снижение вероятности появления высоких перенапряжений при включениях линии. Меры снижения коммутационных перенапряжений можно подразделить на группы. Меры ограничения вынужденной составляющей коммутационных перенапряжений. К ним относятся: деление дальних линий электропередачи на участки длиной не более 300 км с подключенными к промежуточным точкам устройствами поддержания нормального уровня напряжения; применение трансформаторов с регулирующимся коэффициентом трансформации, шунтирующих реакторов и синхронных компенсаторов; выбор такой последовательности включения концов линии, при которой сначала линия подключается к шинам наиболее мощной подстанции, а затем к шинам менее мощной подстанции. К мерам, направленным на ослабление переходной составляющей коммутационного процесса при включении линий относят установку шунтирующих сопротивлений в выключателях и синхронное включение выключателей. Ослабление интенсивности переходного процесса при включении линии можно достичь также путем введения на время коммутации активных сопротивлений в цепь тока, протекающего по шунтирующим реакторам, например, включения резистора в нейтраль обмоток группы трехфазных реакторов. Вентильные разрядники и ОПН поглощают в своих рабочих резисторах значительную часть энергии перенапряжений.

Перенапряжения при коммутации ненагруженных линий электропередачи связаны с включениями или отключениями выключателями емкостных токов. Подобные же процессы возникают при отключениях батарей конденсаторов поперечной компенсации (БК) или сборных шин подстанций.

Коммутации АПВ линии происходят реже, чем плановые включения, но могут сопровождаться более высокими перенапряжениями. Главной причиной повышенных перенапряжений является наличие на линии остаточного заряда, не успевающего стечь за время бестоковой паузы АПВ и создающего в момент включения начальное напряжение на линии  $U_0$ . Особенно неблагоприятными являются АПВ линии на устойчивое короткое замыкание. При этих коммутациях кратность переапряжения на здоровых фазах

увеличивается за счет повышения установившейся составляющей напряжения, вызванного протеканием в сеть несимметричного тока короткого замыкания. Однако, доля таких неуспешных АПВ в общем количестве автоматических включений линий в сетях 110-500 кВ составляет всего около 20 %.

Коммутационные перенапряжения на линиях могут возникать при отключениях коротких замыканий и при разрыве электропередачи в случае потери синхронизма. Наиболее интенсивный переходный процесс возникает на поврежденной фазе, где разница между начальным (до отключения линии) и установившемся значением напряжения линии после отключения имеет наибольшую величину.

Перенапряжения при отключениях электродвигателей имеют такую же природу, как и при отключениях трансформаторов или реакторов. Эти перенапряжения вызваны обрывом тока в выключателе и обусловлены свободными колебаниями, возникающими в процессе обмена энергией между индуктивностью отключаемого электродвигателя и емкостью питающего кабеля. Они могут возрасти при отключении синхронного электродвигателя в режиме асинхронного хода, а также при двухфазных коротких замыканиях в статорной обмотке машины. В аварийных режимах работы электродвигателя увеличивается скольжение ротора и возрастает ток в обмотке статора, что также приводит к повышению кратностей перенапряжений. Возникающие при отключениях электродвигателей перенапряжения, как правило, представляют собой комбинацию колебательных процессов разной частоты, наложенных на напряжение рабочей частоты 50 Гц. Перенапряжения, которые возникают при срезе тока до его естественного перехода через нуль, представляют собой высокочастотные колебания.

Ограничение коммутационных перенапряжений может осуществляться путем снижения вероятности возникновения таких аварийных ситуаций, а также установки вентильных разрядников и ОПН.

УДК 621.315

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ УСТАНОВКИ МЕЖДУФАЗНЫХ РАСПОРОК ТИПОВЫХ ОРУ

Рудак М.С., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

В распределительных устройствах (РУ) высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь общепринято применять токоведущие конструкции с гибкими проводами.

Начальное положение проводов и тяжения в пролете, при изменении температуры, скорости ветра и толщины гололеда, могут существенно изменяться. В связи с этой проблемой актуальным становится вопрос повышения электродинамической стойкости существующих токоведущих конструкций с минимальными затратами средств и времени.

Пролеты типовых ОРУ 110 – 330 кВ в основном используются на территории Республики Беларусь в составе электростанций и подстанций. Из всех пролетов выбраны пролеты наибольшей длины, где отклонения проводов будут самыми большими. Чтобы избежать вторичного КЗ на шинах РУ из-за недопустимого сближения фаз или их схлестывания, устанавливаются изолирующие междуфазные распорки.

Гибкость проводов распределительных устройств позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов КЗ проводники соседних фаз начинают взаимодействовать. В результате они могут сблизиться на недопустимое по условию электрической прочности изоляционного промежутка расстояние. При этом на электрические аппараты РУ и опорные конструкции воздействуют ударные нагрузки.

Токи электродинамической стойкости гибкой ошиновки возрастают с увеличением сечения проводника. Это объясняется большей инерционностью тяжелых проводников. Одним из мероприятий, ограничивающих размах колебаний, может стать уменьшение стрелы провеса. Однако это приводит к дополнительным нагрузкам на опорные и изоляционные конструкции.

В закрытых распределительных устройствах с гибкой ошиновкой для ограничения колебаний сборных шин применяются V-образные гирлянды изоляторов, конструкция которых ограничивает отклонения зажимов. Более эффективно ограничивают размах колебаний шин при КЗ V-образные стержневые изоляторы.

Однако, такие технические решения применимы лишь для ЗРУ, где длина пролетов невелика. В ОРУ большая часть длины пролета приходится на провод, и ограничение колебаний зажимов существенного технического эффекта не даст.

Наиболее действенным решением, не требующим больших материальных и временных затрат, является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих ОРУ.

Использование распорки, в состав которой входят тарельчатые изоляторы, для РУ 110 кВ и выше представляется нецелесообразным из-за ее значительной массы и гибкости. В качестве альтернативы можно предложить распорки на основе современных полимерных стержневых изоляторов.

Такие распорки могут быть применены для ограничения сближения фаз друг с другом в пролетах типовых ОРУ 110 – 330 кВ.

Основу такого изолятора составляет стержень из стеклопластика, который способен выдерживать значительные механические нагрузки во всех направлениях. Сверху такой стержень покрыт полимерной ребристой оболочкой для увеличения разрядных напряжений по поверхности.

Подобные полимерные распорки применялись на ЛЭП 220 – 500 кВ для ограничения пляски проводов.

Установка одной распорки в середине пролета значительно повышает электродинамическую стойкость пролета, а применение двух и более распорок может полностью исключить возможность недопустимого сближения гибких шин при любых возможных токах КЗ. Количество и место установки распорок должны определяться расчетом для каждого конкретного пролета. Такую возможность дает компьютерная программа FLEBUS, дополненная подпрограммой динамики междуфазной распорки.

Растягивающие усилия на распорку по результатам расчета могут достигать 250 даН, сжимающие – 150 даН.

Распорки в компьютерной программе представлены как пружины с жесткостью, соответствующей жесткости распорок. Вес распорок переносится на проводники в точки крепления распорок.

Основные параметры электродинамической стойкости – минимальные междуфазные расстояния в процессе колебания проводников и максимальные тяжения.

Существуют следующие схемы установки междуфазных распорок в пролете: в центре пролета; в одной трети пролета в шахматном порядке; в одной трети пролета; в одной пятой пролета в шахматном порядке.

УДК 621.3

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТОКОПРОВОДОВ 6 – 10 КВ ДЛЯ КРУ

Король Д.Ю., Андреев А.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Современные токопроводы имеют следующие исполнения: с жесткими шинами, закрепленными на опорных изоляторах, с расположением фаз в одной плоскости; с жесткими шинами на опорных изоляторах, с симметричным расположением фаз по вершинам равностороннего треугольника; с жесткими шинами с наружным экраном; с гибкими шинами наружной прокладки на подвесных изоляторах.

По сравнению с расположением фаз в одной плоскости (горизонтальной или вертикальной) симметричное расположение фаз отличается меньшими потерями электроэнергии, не требует устройства транспозиции фаз, а также имеет меньшее индуктивное сопротивление.

Фазо-шины жестких токопроводов чаще всего выполняются из алюминиевого коробчатого профиля, а гибких токопроводов – из пучка голых, чаще алюминиевых проводов, расположенных по периметру круга.

При выборе конструкций токопровода существенную роль, наряду с основными затратами, играют потери энергии в металлических частях поддерживающих и ограждающих конструкций, в арматуре и закладных деталях, в шинодержателях и др. Значительную долю их составляют потери на перемагничивание стали. Наибольшего значения потери достигают при несимметричном расположении фаз. Если в этом случае стальные части заменить на части из алюминиевых или медных сплавов, которые не имеют потерь на перемагничивание, то удастся снизить общие потери на 35 – 40 %.

В токопроводах при симметричном расположении фаз переход от стали к сплавам не имеет актуального значения ввиду малых потерь в конструкциях благодаря скомпенсированному полю трех фаз. По этой причине поддерживающие конструкции из немагнитных сплавов находят применение главным образом при сооружении токопроводов с расположением фаз в одной плоскости. Вторая важная особенность этих токопроводов заключается в различной индуктивности фаз (из-за полей рассеяния), вызывающей нежелательный перекося фазных напряжений у электроприемников. Чтобы избежать этого, прибегают к транспозиции фаз. Транспозиция сводится к взаимному изменению положения всех трех фаз (скрещение).

Особое место в передаче электроэнергии занимают экранированные (закрытые) токопроводы. Экранированный токопровод представляет собой трубу в трубе (или короб в трубе) с установленными между ними изоляторами, при этом внутренняя труба выполняет функции собственно токопровода, а наружная – экрана. Обе трубы выполняются из одного и того же проводникового материала – алюминия.

Шинный пакет с охватывающим его экраном (кожухом) принципиально представляет трансформатор тока без железного сердечника. Поэтому при прохождении тока по шине в экране возникает индуктированный ток размагничивающего действия, благодаря чему результирующее магнитное поле внутри короба заметно ослабляется, и, следовательно, электродинамическое воздействие между шинными пакетами отдельных фаз такого токопровода также в значительной мере ослаблено.

Экранированные токопроводы безопасны при прикосновении к экранам и устойчивы в динамическом отношении при прохождении токов короткого замыкания. Однако высокая их стоимость является серьезным препятствием к широкому распространению.

Развивающимся в настоящее время симметричным токопроводам с жесткими шинами присущи тоже некоторые недостатки, они характеризуются использованием дорогостоящих опорных изоляторов типа ИШД-35, а также технологической сложностью выполнения



поворотов шинных пакетов в пространстве. Это вызывает необходимость дальнейших поисков новых конструктивных решений. Одним из возможных вариантов нового решения явится переход от жестких опорных конструкций (треугольников) к гибким подвесам с использованием более дешевых подвесных изоляторов типов П, ПМ и ПС, применяющихся на линиях электропередачи.

Токопроводы пофазно-экранированные: токопроводы серии ТЭНЕ-10 имеют пофазно-экранированное исполнение. Каждая фаза токопровода состоит из токоведущей шины соответствующего сечения, кожуха-экрана и изоляторов. Шина закрепляется по сечению одним изолятором специальным шинодержателем. Изоляторы крепятся к крышкам, которые, в свою очередь, закрепляются на кожухах-экранах болтами.

Токопроводы комплектные закрытые: токопроводы серии ТЗК состоят из оболочки, общей для трех фаз, и токоведущих шин соответствующего профиля и сечения. Шины закрепляются к изоляторам внутри оболочек по вершинам равностороннего треугольника посредством специальных шинодержателей. Токопроводы 6 и 10 кВ на номинальные токи до 4000 А служат для электрического соединения на электростанциях различных по назначению трансформаторов со шкафами комплектных распределительных устройств, а также турбогенераторов с повышающими трансформаторами. Токопроводы могут быть применены также для других объектов энергетики, промышленности, транспорта, сельского хозяйства и др.

Токопроводы ТЗКР выполняются с междуфазовыми разделительными перегородками из металла. Перегородки предназначены для исключения возможности перехода однополюсного замыкания в междуфазное короткое замыкание.

Токопроводы серии ТЗКЭП-6 пофазно-экранированного исполнения. Каждая фаза токопровода состоит из алюминиевой токоведущей шины соответствующего трубчатого сечения, цилиндрического кожуха-экрана из алюминия и изоляторов. Опорные изоляторы устанавливаются на крышках, крепление каждой из которых на оболочках выполнено шестью болтами. Шина по сечению закрепляется одним изолятором посредством специального шинодержателя.

В настоящее время востребованы два основных вида токопроводов – это токопроводы с воздушной изоляцией и токопроводы с литой изоляцией. В настоящее время производители работают над совершенствованием конструкции таких токопроводов путем изменения конфигурации кожухов на более компактную, а также путем оптимизации изоляции. Помимо этого, производители переходят на более современные материалы, что делает изделие более надежным и продлевает срок эксплуатации.

Конструкция токоведущих частей электроустановок могут быть в жестком или гибком исполнении. Жесткие соединительные выводные провода и шины (перемычки и вывод) изолированные и голые применяются в аппаратах со сложной схемой коммутации, например в панелях управления, контроллерах, реостатах, комплектных распределительных устройствах (КРУ) и в других комплектных аппаратах. Гибкие соединения из кабеля и тонкой ленты применяются во многих аппаратах, имеющих подвижные контакты, например в контакторах, контроллерах, воздушных автоматических и некоторых масляных выключателях, а также в других аппаратах.

В электроустановках (электростанциях и подстанциях) применяются неизолированные жесткие проводники, неизолированные гибкие многопроволочные провода, кабели и комплектные токопроводы. В настоящее время применяются в основном алюминиевые токоведущие части и шины, но в связи с уменьшением разницы цен алюминиевых и медных проводников в последнее время расширилась возможная область применения медных проводников. Выбор конкретных типов проводников зависит от номинального напряжения, тока, рода установки и особенностей проектируемой электроустановки.

Увеличение передаваемых мощностей в системе электроснабжения промышленных предприятий требует повышения сечения сетей. В последние 20 лет наблюдается

постепенный переход от кабельных линий к токопроводам, обладающим большими надежностью и перегрузочной способностью.

УДК 621.3

## УСТАНОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

Гефтер М.В., Пылинская Е.Р.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания переключающих устройств и других элементов оперативных цепей составляет систему оперативного тока данной электроустановки. Оперативный ток на электрических станциях и подстанциях служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратура дистанционного управления, аварийная и предупредительная сигнализация. При нарушениях нормальной работы подстанции оперативный ток используется также для аварийного освещения и электроснабжения электродвигателей.

Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

– постоянный оперативный ток – система питания оперативных цепей, при которой в качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея;

– переменный оперативный ток – система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока защищаемых присоединений, измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы;

– выпрямленный оперативный ток – система питания оперативных цепей переменным током, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия могут использоваться предварительно заряженные конденсаторы;

– смешанная система оперативного тока – система питания оперативных цепей, при которой используются разные системы оперативного тока (постоянный и выпрямленный, переменный и выпрямленный).

В системах оперативного тока различают:

– зависимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей зависит от режима работы данной электроустановки (электрической подстанции);

– независимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей не зависит от режима работы данной электроустановки.

Постоянный оперативный ток применяется на подстанциях 110–220 кВ со сборными шинами этих напряжений, на подстанциях 35–220 кВ без сборных шин на этих напряжениях с масляными выключателями с электромагнитным приводом, для которых возможность включения от выпрямительных устройств не подтверждена заводом изготовителем.

Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35–220/6(10) и 110–220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели 6(10)–35 кВ оснащены пружинными приводами.

Выпрямленный оперативный ток должен применяться:

– на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ;

– на подстанциях 35–220/6(10) кВ и 110 – 220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели оснащены электромагнитными приводами;

– на подстанциях 110 кВ с малым числом масляных выключателей на стороне 110 кВ.

Смешанная система постоянного и выпрямленного оперативного тока применяется для уменьшения емкости аккумуляторной батареи за счет применения силовых выпрямительных устройств для питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей.

Целесообразность применения этой системы должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами.

Смешанная система переменного и выпрямленного оперативного тока применяется:

– для подстанций с переменным оперативным током при установке на вводах питания выключателей с электромагнитным приводом;

– для питания электромагнитов включения которых устанавливаются силовые выпрямительные устройства;

– для подстанций 35 – 220 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда не обеспечивается надежная работа защит от блоков питания при трехфазных коротких замыканиях на стороне среднего или высшего напряжения.

Всех потребителей энергии, получающих питание от аккумуляторной батареи, можно разделить на три группы:

– постоянно включенная нагрузка – аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно обтекаемые током, а также постоянно включенная часть аварийного освещения;

– временная нагрузка – появляющаяся при исчезновении переменного тока во время аварийного режима – токи нагрузки аварийного освещения и электродвигателей постоянного тока;

– кратковременная нагрузка (длительностью не более 5 с) создается токами включения и отключения приводов выключателей и автоматов, пусковыми токами электродвигателей и токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, кратковременно обтекаемых током.

Источниками питания переменного оперативного тока являются трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд.

Для получения выпрямленного напряжения (тока) применяют:

– силовые выпрямители для питания электромагнитов включения приводов выключателя;

– зарядные устройства с аккумулятором энергии, запасенная энергия которых служит для питания различных аппаратов даже при исчезновении напряжения на объекте;

– блоки питания, включаемые на трансформаторы тока трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд для питания вторичных цепей.

Потребители собственных нужд первой и второй групп атомных электрических станций (АЭС) требуют надежного питания, поэтому используют автономные источники питания: дизель-генераторы, агрегаты бесперебойного питания (АБП), преобразовательные устройства, газотурбинные установки. Для потребления постоянного и переменного тока этих групп на АЭС устанавливают АБП, в которые входят управляемые и неуправляемые выпрямители, автономные инверторы, тиристорные ключи с естественной и искусственной коммутацией.

Самым надежным источником питания оперативных цепей считаются аккумуляторные батареи. Большим преимуществом их является независимость от внешних условий, что позволяет обеспечивать работу вторичных устройств даже при полном исчезновении напряжения в основной сети станции (подстанции). Наиболее распространенными являются свинцово-кислотные аккумуляторы, на сегодняшний день применяется исключительно схема аккумуляторной установки, работающей по методу постоянного подзаряда.

УДК 621.316

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Рублевский Е.В., Гапанович А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Губанович А.Г.

Автоматические выключатели делят на автоматы низкого (до 1000 В) и высокого (выше 1000 В) напряжения.

Высоковольтные выключатели производят коммутацию, как номинальных токов, так и токов короткого замыкания и осуществляют функции защиты в аварийных режимах в системах распределения электроэнергии. Автоматический выключатель высокого напряжения предназначен для включения и отключения номинальных токов, тока холостого хода силовых трансформаторов и ёмкостных токов конденсаторных батарей и длинных линий, токов перегрузки и токов короткого замыкания. Гашение электрической дуги осуществляется потоком сжатого воздуха, получаемого от специального источника, под давлением 2–4 МПа. Изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства осуществляется фарфором или другими твёрдыми изолирующими материалами. Но защитные функции они выполняют через устройства линейной защиты, которые подают сигнал на привод выключателя. К высоковольтным относятся генераторные выключатели, предназначенные для подключения и отключения генераторов к блочному трансформатору.

Автоматические воздушные выключатели низкого напряжения также защищают сеть, но с помощью специальных устройств – расцепителей, которые воздействуют на механизм свободного расцепления автомата, что приводит к его отключению. Автоматический выключатель низкого напряжения – аппарат для нечастой ручной коммутации электрических цепей и автоматической защиты их при коротких замыканиях, длительной перегрузке или при снижении напряжения. При автоматическом выключении воздушного выключателя срабатывает расцепитель. Расцепитель представляет собой электромагнитное или тепловое реле, срабатывающее, например, при увеличении тока сверх допустимого. При этом приводится в действие механизм свободного расцепления автомата и происходит разрыв силовых контактов. Время срабатывания (отключение выключателя) может составлять 0,025 – 0,05 с. Автомат более удобен, чем рубильник или плавкий предохранитель. Он обеспечивают лучшую защиту при малых перегрузках, является аппаратом многократного действия. кратность коммутационных перенапряжений. Дальнейшее снижение этого уровня требует усиления дугогасящей способности искровых промежутков разрядников и связано с риском повреждения разрядников при длительных квазистационарных перенапряжениях

Воздушные выключатели отличаются от других (например, газовых, масляных и вакуумных) тем, что гашение электрической дуги осуществляется потоком сжатого воздуха. Примеры высоковольтных выключателей: ВВБ, ВНВ, генераторные выключатели. Примеры низковольтных выключателей: АП-50, АЗ700. Как и всякий электрический прибор, автомат нуждается в техническом обслуживании. Техническое обслуживание автоматических выключателей низкого напряжения производится один раз в квартал или один раз в год, в зависимости от условий среды и режима работы, а также после каждого отключения максимальных токов короткого замыкания. При профилактике и ремонте автоматов применяются все меры электробезопасности и пожаробезопасности. К шарнирным механизмам низковольтных выключателей применяется приборное масло, для чистки контактов применяется спирт, для внутренних поверхностей дугогасительных камер – бензин. Обслуживание и ремонт автоматов производится согласно инструкции по эксплуатации. В высоковольтных выключателях удобен для ремонта модульный принцип построения. Средний срок службы до среднего ремонта – 8 лет. Срок службы до списания – 25 лет. Техническое обслуживание высоковольтных выключателей включает в себя следующие виды ремонтов: текущий, внеочередной и капитальный.

При ремонте и эксплуатации генераторных выключателей применяется несколько степеней защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. К выключателям высокого напряжения предъявляются следующие требования: надёжное отключение любых токов, вплоть до токов КЗ, быстрота действия, т.е. наименьшее время отключения; пригодность для работы с системой быстродействующего автоматического повторного включения (АПВ), возможность пофазного управления для выключателей 110 кВ и выше, лёгкость ревизии и осмотра контактной группы, взрыво- пожаробезопасность, удобство в эксплуатации.

УДК 621.3

## КАБЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мышковский Д.Г., Хомякова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Развитие технологии изготовления высоковольтного кабеля позволило создавать кабель с изоляцией из поперечно-сшивного полиэтилена, допускающего высокую напряженность. Сегодня этот кабель широко применяется в подземных распределительных и промышленных сетях. Имеется много примеров применения такого кабеля на напряжение выше 400 кВ. Одной из главных причин замены воздушных линий кабельными является повышение надежности энергоснабжения. Считается, что рабочая напряженность в таком кабеле сегодня может быть равной 15 кВ/мм (действующего значения), что подтверждено существующими кабельными линиями на напряжение 500 кВ. По практическим мотивам в настоящее время для рассматриваемых напряжений в кабельных трансформаторах применяется кабель с рабочей напряженностью около 10 кВ/мм. В будущем могут быть использованы более высокие напряженности.

При изготовлении кабельного трансформатора был использован кабель, изготовленный на заводе АВВ в Карлскрона (Швеция). В таком кабеле токопроводящие медные или алюминиевые жилы окружены общим полупроводящим цилиндрическим экраном, позволяющим снизить высокую напряженность электрического поля на жилах проводника и сделать его квазиравномерным на поверхности экрана. Далее идет изоляция из поперечно сшивного полиэтилена, наружный слой которого также сделан полупроводящим. При относительно малом диаметре такого кабеля он может быть использован для изготовления трансформатора. При применении такого кабеля для обычных целей он должен быть снабжен защитной оболочкой, предохраняющей от воздействия земли и воды.

Первый кабельный трансформатор был изготовлен фирмой АВВ и поставлен энергетической компании в Швеции. Это был трехфазный трансформатор мощностью 20 МВА и напряжением 140/6,6 кВ. Обмотка ВН слоевая намотана полиэтиленовым кабелем. Дистанцирующие рейки между слоями на концах закреплены радиальными концевыми деталями, изготовленными из стеклопластика. Аксиальные рейки изготовлены из немагнитного проводящего материала. Их назначение создавать каналы между слоями, обеспечивать охлаждение, создавать механический каркас обмотки и заземление кабеля.

Функции отдельных частей кабельного трансформатора определены более четко, чем обычных трансформаторах. Так, кабель полностью обеспечивает электрическую изоляцию обмотки. Воздух служит только для охлаждения, и не выполняет функции изоляции, как в обычных сухих трансформаторах. Главной функцией немагнитных металлических реек является обеспечение механической прочности обмоток, в том числе при воздействиях токов короткого замыкания. В отличие от обычных трансформаторов, обмотка не требует прессовки с опорой на ярмо. Все это позволяет лучше оптимизировать отдельные части трансформатора.

Испытания кабеля были проведены на однофазной модели мощностью 10 МВА, с напряжением 52/17 кВ. Обмотка в отличие от обычных трансформаторов не требует сжатия с опорой на ярмо. В нормальном режиме механической нагрузкой на кабель является только собственный вес, обычно составляющий 3 кг/м. Кабель способен выдерживать такую нагрузку, что подтверждено длительными испытаниями. Испытания на прочность при воздействии токов короткого замыкания проводились в соответствии с МЭК 600.76 и стандартом IEEE C.57.1201. Модель имела полное сопротивление к.з. 8,1% и номинальный ток обмотки НН равный 1118 А. Ток короткого замыкания составил 12600 А (действующий) и пиковое значение асимметричной составляющей 32000 А. Длительность воздействий была 500 мс. Испытания проводились при температуре 25 °С и 70 °С. Количество ударов равно 3. Вышеуказанные стандарты не содержат указаний о температуре трансформатора во время

испытаний. Однако известно, что механические свойства полиэтиленового кабеля изменяются с изменением температуры и, особенно, при высоком ее значении. Поэтому испытания при полном токе короткого замыкания были также проведены при рабочей температуре трансформатора.

При повреждении обычного маслonaполненного трансформатора всегда есть опасность возгорания масла. В случае разрыва бака горящее масло разливается вокруг трансформатора. В кабельном трансформаторе количество горючих материалов гораздо меньше, чем в обычном. Кроме того, горючесть материалов, применяемых в кабельном трансформаторе, имеет меньшую тенденцию к развитию возгорания, чем горючие материалы, применяемые в обычном трансформаторе.

Простота конструкции кабельного трансформатора позволяет предположить о более высокой его надежности по сравнению с обычными трансформаторами.

Чтобы определить возможную повреждаемость трансформатора, можно выяснить повреждаемость отдельных его частей и определить повреждаемость всего трансформатора. Тем же методом определяется среднее время между ремонтами и среднее время нахождения трансформатора в ремонте. Так как компоненты кабельного трансформатора имеют длительную историю, можно предсказать их надежности в составе кабельного трансформатора. Для этого были использованы статистические данные о повреждаемости трансформаторов и отдельных его частей, включая кабель и все вспомогательное комплектующее оборудование.

Экологические преимущества и безопасность кабельных трансформаторов позволяет приблизить их установку к местам потребления энергии, в том числе к бытовым потребителям. Кабельные трансформаторы обладают повышенной надежностью благодаря простоте конструкции и высокой надежности кабеля. Благодаря отсутствию масла кабельные трансформаторы меньше воздействуют на окружающую среду, чем маслonaполненные, и более безопасные. Кабельные трансформаторы открывают новые возможности для глубокого ввода энергоснабжения на высоком напряжении в густонаселенные районы, где имеются высокие требования к пожаро и взрывобезопасности и снижению загрязнения воздуха и почвы.

Фактором, препятствующим промышленному применению кабельных трансформаторов в настоящее время, является их высокая стоимость.



УДК 621.3

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Рымкевич Л.П., Алейник В.С., Баран А.Г.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

По уровню токов и мощностей КЗ осуществляют выбор сечения шин, токопроводов, проводов и кабелей, отключающую и коммутационную способность аппаратов, электродинамическую и термическую стойкость токоведущих частей и конструкций электрооборудования. Выбор электрооборудования по факторам аварийного режима не только означает предъявление более жестких требований к его техническим характеристикам, но и свидетельствует о соответствующем росте его стоимостных показателей.

При проектировании ЭЭС решается технико-экономическая задача ограничения уровней токов и мощностей КЗ до значений, допустимых параметрами электрооборудования, которые экономически целесообразно применять. В процессе эксплуатации ЭЭС, сопровождающейся их развитием с включением новых источников электрической энергии, возникает задача ограничения уровней токов и мощностей КЗ, если они превышают параметры установленного электрооборудования. При ее решении используют различные меры и средства, связанные с уменьшением токов КЗ и направленные на увеличение сопротивления цепи КЗ, локализацию в аварийном режиме источников ее питания и отключение поврежденной электрической сети за время менее 5 мс.

К методам ограничения токов КЗ относятся: выбор структуры и схемы электрических соединений элементов ЭЭС; стационарное и автоматическое деление электрической сети; выбор режима ее эксплуатации; выбор схем коммутации; применение оборудования с повышенным электрическим сопротивлением; использование быстродействующих коммутационных аппаратов; изменение режима нейтрали элементов сети.

Структура и схемы электрических соединений элементов ЭЭС выбираются на стадии ее проектирования и реконструкции. В основу принимаемых решений при этом должны быть положены следующие принципы: максимальное приближение источников питания к электроприемникам; секционирование всех ступеней распределения электрической энергии в системе электроснабжения (СЭС); построение и выбор конфигурации электрической сети (радиальной, магистральной, радиально-магистральной) должны обосновываться (наряду с такими основными факторами, как надежность, потери мощности и энергии, расход цветного металла и другие) также степенью использования сечений проводников, выбранных по току КЗ; использование токоограничителя в схеме электроснабжения, при котором токоограничивающие устройства устанавливаются на нескольких последовательных ступенях распределения электрической энергии.

Стационарное или автоматическое деление сетей выполняется обычно в системах внешнего электроснабжения в связи с увеличением числа и мощности источников электрической энергии, как в энергетической системе, так и на собственных ТЭЦ. Необходимость деления сети получается в тех случаях, когда уровень токов КЗ в узлах нагрузки превышает допустимый уровень по параметрам электрооборудования, находящегося в эксплуатации.

Применение электрооборудования с повышенным электрическим сопротивлением предусматривает установку как общесетевых, так и специальных элементов. При проектировании СЭС можно целенаправленно выбирать элементы сети с большим реактивным и активным сопротивлениями, изменяя количество и мощность трансформаторов, применяя трансформаторы с повышенным относительным напряжением КЗ, воздушные линии и токопроводы с увеличенным расстоянием между фазами, протяженные токопроводы и тому подобное. К специальному электрооборудованию

относятся трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленными обмотками низшего напряжения, одноцепные и сдвоенные реакторы.

Реализация различных способов ограничения токов КЗ предусматривает применение специальных технических средств, которые непосредственно, благодаря своему конструктивному исполнению, ограничивают значение или продолжительность воздействия тока КЗ либо используются в схемах соединения элементов, выполняющих в совокупности эту функцию. К таким средствам относятся: аппараты и устройства, реализующие автоматическое деление сети; силовые трансформаторы и автотрансформаторы с особым исполнением конструкции и соединения фазных обмоток; токоограничивающие элементы и устройства; токоограничивающие коммутационные аппараты; устройства изменения режима работы нейтрали силовых трансформаторов.

Автоматическое деление сети может использоваться во внешнем электроснабжении предприятий в сетях напряжением 35 кВ и выше. Такая операция реализуется с применением устройств противоаварийной автоматики и коммутационных аппаратов, устанавливаемых на мощных присоединениях, между секциями РУ и на вводах. Средства противоаварийной автоматики включают в себя: релейную защиту, реагирующую на появление КЗ; устройства автоматического выполнения последовательного отключения коммутационных аппаратов; устройства автоматической частотной разгрузки, АПВ и АВР.

Трансформаторы и автотрансформаторы могут выполняться с расщепленными обмотками низшего напряжения. Части расщепленной обмотки размещаются симметрично относительно обмотки высшего напряжения, имеют самостоятельные выводы и допускают произвольное распределение нагрузки между обмотками. Ограничение токов КЗ конструктивно достигается большим значением напряжения КЗ между частями расщепленной обмотки. Для ограничения несимметричных токов КЗ существенную роль играет схема соединения фазных обмоток трансформаторов и автотрансформаторов. Так как в схему замещения нулевой последовательности включаются только те ветви, по которым циркулируют токи нулевой последовательности, то она не содержит участков электрической сети, находящихся за обмотками, соединенными в треугольник.

Токоограничивающие реакторы представляют собой дополнительные реактивные сопротивления, которые включаются в различных точках электрической сети напряжением 6 – 220 кВ. Их назначение – снижение тока КЗ за реактором и сохранение требуемого уровня остаточного напряжения в узловых точках сети перед реактором.

Токоограничивающие коммутационные аппараты совмещают функции ограничения наибольших значений токов КЗ и защиты от воздействия сверхтоков путем их отключения. К ним относятся быстродействующие токоограничивающие предохранители, ограничители ударного тока, а также специальные автоматические выключатели на напряжение до 1 кВ.

Для ограничения токов КЗ на землю разземляют нейтраль части силовых трансформаторов, включают в цепь нейтрали элементов сети реакторы с линейной характеристикой, насыщающиеся реакторы, дугогасящие реакторы и резисторы, нелинейные сопротивления. Эти устройства могут включаться постоянно в нейтраль, вводиться в цепь ее рабочего заземления при КЗ на землю с помощью коммутационных аппаратов или изменять результирующее сопротивление при появлении КЗ на землю путем срабатывания пороговых элементов (насыщающихся реакторов), индуктивно-емкостных контуров, настроенных в резонанс напряжений.

Высокие токи короткого замыкания обуславливают предъявление повышенных требований в отношении функционирования коммутационной аппаратуры, релейной защиты, системной автоматики, а также электродинамической и термической стойкости элементов ЭЭС, что в свою очередь вызывает повышение стоимости данных элементов. Также высокие уровни токов короткого замыкания являются причиной снижения надежности силовых трансформаторов. Эти причины определяют задачу поиска методов и средств ограничения токов короткого замыкания, некоторые из которых описаны в данной работе.

УДК 621.3

## **ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Герасимов Е.О., Федоров Д.С., Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.М. Силюк

При эксплуатации действующих электроустановок применяют различные электрозащитные средства и предохранительные приспособления. Изолирующие средства защиты служат для изоляции человека от частей электрооборудования, находящихся под напряжением, или от земли в случае прикосновения к заземленным частям электрооборудования и к токоведущим частям электроустановок. Изолирующие средства защиты подразделяются на основные и дополнительные.

Основными называются такие изолирующие средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. К основным изолирующим средствам защиты в электроустановках напряжением выше 1 кВ относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, комплекты для фазировки и др.

Дополнительными называются такие изолирующие средства защиты, которые сами по себе не могут при данном напряжении электроустановки обеспечить безопасность персонала от поражения электрическим током и являются лишь дополнительной мерой защиты к основным средствам. К дополнительным средствам защиты, применяемым в электроустановках напряжением выше 1 кВ, относятся: диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, диэлектрические резиновые ковры, изолирующие накладки и подставки на фарфоровых изоляторах, диэлектрические колпаки, переносные заземления, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности.

Изолирующие штанги по назначению делятся на оперативные и измерительные. Оперативные штанги предназначены для включения и отключения однополюсных разъединителей, для определения наличия напряжения, для замены предохранителей выше 1 кВ, для установки искрового промежутка, для снятия и установки трубчатых разрядников, для очистки изоляции оборудования от пыли под напряжением и для других работ. Измерительные штанги предназначены для измерения распределения потенциала по гирлянде подвесных или по колонке штыревых изоляторов, контроля качества контактных соединений токоведущих частей посредством измерения падения напряжения или температуры контактов и т. д.

Указателями напряжения являются переносные приборы, предназначенные для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок. Отсутствие напряжения должно быть проверено перед включением заземляющих ножей или наложением на токоведущие части переносного заземления.

Переносные заземления предназначены для защиты людей, работающих на отключенных токоведущих частях оборудования или электроустановки, от поражения электрическим током в случае ошибочной подачи напряжения на отключенный участок или при появлении на нем наведенного напряжения. Переносные заземления применяются в тех частях электроустановки, в которых нет стационарных заземляющих ножей. Защитное действие переносных заземлений или стационарных заземляющих ножей заключается в том, что они не позволяют появиться дальше места их установки напряжению опасной для персонала величины. При подаче напряжения на заземленный и закороченный участок возникает короткое замыкание. Благодаря этому напряжение в месте короткого замыкания снижается практически до нуля и на токоведущие части за заземлением напряжение не будет попадать. Кроме того, сработает защита и отключит источник напряжения. Основным требованием, предъявляемым к переносным заземлениям, является их термическая и

динамическая устойчивость к току короткого замыкания. Переносные заземления устанавливаются на токоведущих частях со всех сторон, откуда может быть подано напряжение на отключенный для производства работ участок.

Изолирующие клещи предназначаются для операций по установке и снятию предохранителей, установке и снятию изолирующих накладок, перегородок. Изолирующие клещи состоят из трех основных частей: рабочей части, изолирующей части и рукоятки. Рукоятка и изолирующая часть изготавливаются из изоляционного материала. Рабочая часть (губки клещей) изготавливаются как из изоляционного материала, так и из металла. При работе с клещами оператор должен стоять на полу, земле или на прочных подмостях и работать в диэлектрических перчатках.

Клещи электроизмерительные предназначены для измерения тока и напряжения, а также мощности без разрыва токовой цепи. Клещи для электроустановок до 10 кВ состоят из трех частей: рабочей, изолирующей и рукояток. Рабочую часть клещей составляют разъемный магнитопровод, обмотка и съемный или встроенный измерительный прибор. Изолирующая часть и рукоятка должны быть выполнены из изоляционного материала с устойчивыми диэлектрическими характеристиками (например: пластмассы, бакелита). Электроизмерительные клещи переменного тока основаны на принципе одновиткового трансформатора тока, у которого первичной обмоткой является провод или шина с измеряемым током, а вторичная многовитковая обмотка, к которой подключен измерительный прибор, насажена на магнитопровод. Электроизмерительные клещи должны применяться в электроустановках закрытого типа соответствующего напряжения. В открытых электроустановках они могут применяться лишь в сухую погоду, когда отсутствует вероятность их увлажнения.

Среди средств, защищающих персонал от поражения током, наиболее широкое распространение имеют диэлектрические перчатки, галоши, боты и ковры. Они изготавливаются из резины специального состава, обладающей высокой электрической прочностью и хорошей эластичностью. Однако и специальная резина разрушается под действием тепла, света, минеральных масел, бензина, щелочей и прочего, легко повреждается механически.

Диэлектрические перчатки изготавливаются двух типов: диэлектрические перчатки для электроустановок до 1 кВ, в которых они применяются как основное защитное средство при работах под напряжением, и диэлектрические перчатки для электроустановок выше 1 кВ, в которых они применяются как дополнительное защитное средство при работах с по мощью основных изолирующих защитных средств (штанг, указателей высокого напряжения, изолирующих и электроизмерительных клещей). Кроме того, эти диэлектрические перчатки используются без применения других защитных средств при операциях с приводами разъединителей, выключателей и другой аппаратуры напряжением выше 1 кВ.

Диэлектрические галоши и боты как дополнительные защитные средства применяются при операциях, выполняемых с помощью основных защитных средств. При этом боты могут применяться как в закрытых, так и открытых электроустановках любого напряжения, а галоши – только в закрытых электроустановках до 1 кВ включительно. Кроме того, диэлектрические галоши и боты используются в качестве защиты от шаговых напряжений в электроустановках любого напряжения и любого типа, в том числе на воздушных линиях электропередачи.

Диэлектрические ковры применяются в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражения током. При этом помещения не должны быть сырими и пыльными. Ковры расстилаются по полу перед оборудованием, где возможно соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением до 1 кВ, при эксплуатационно-ремонтном обслуживании оборудования, в том числе перед щитами и сборками, у колец и щеточного аппарата генераторов и электродвигателей, на испытательных стендах и т. д.. Они применяются также в местах, где производятся включение и отключение рубильников, разъединителей, выключателей, управление

реостатами и другие операции с коммутационными и пусковыми аппаратами как до 1 кВ, так и выше.

УДК 621.3.014.1

## ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Кулик Д.А., Водопьянова А.А., Будников В.В.  
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Основным направлением развития электроустановок и электрооборудования для их комплектации на современном этапе является сокращение габаритов, веса, запасов механической прочности и тепловой устойчивости, а также повышение надежности и экономичности.

Составной частью электроустановок являются токоведущие системы, по которым осуществляются передача и распределение электроэнергии. Именно к ним предъявляются самые высокие требования надежности и экономичности работы, определяемые их ролью и местоположением, как единственного пути, по которому передается колоссальная мощность современных энергоблоков. Успехи в создании эффективных и компактных токоведущих систем достигнуты как за счет разработки новых конструкций, применения в них более рациональных форм сечения проводников и систем охлаждения, так и в значительной степени благодаря пересмотру традиционных методов расчета электромагнитных процессов, протекающих в самих токоведущих системах и окружающих их металлоконструкциях.

Конструкционным материалам (электротехническим и конструкционным сталям) многих составных частей присущи нелинейные свойства. Однако при аналитических решениях задачу линеаризуют. Наряду с этим следует различать два режима намагничивания. Одним из них является режим, когда известен закон изменения намагничивающего тока (намагничивающей силы), то есть известно изменение напряженности магнитного поля на краях исследуемой области.

Значительная часть узлов и деталей электроустановок выполнены из конструкционных и электротехнических сталей, которые обладают гистерезисными магнитными характеристиками. Исследование электромагнитных полей в таких средах в зависимости от режима намагничивания требует установления функциональных связей между индукцией и напряженностью магнитного поля –  $B(H)$  или  $H(B)$  с учетом явления гистерезиса.

В переменном поле токоведущих систем электроустановок располагаются различные металлические конструкции в виде коробов, перегородок и ограждений из листов, щитов, плит, опорных балок и т.п.. Электромагнитные процессы в таких конструкциях вызывают их нагрев и вибрацию, существенно влияют на работу самих систем, изменяют их параметры, что требует проведения расчета электромагнитных полей и принятия соответствующих технических решений по устранению их вредного влияния.

Задача расчета электромагнитных взаимодействий токоведущих частей и металлических конструктивных элементов основывается на классической задаче анализа электромагнитных процессов в проводящих средах, расположенных в поле переменных токов промышленной частоты. Исследование таких процессов проводят аналитически, численно или на основе экспериментальных данных.

Проектирование токопроводов и систем электроснабжения с их использованием требует тщательного проведения расчетов электромагнитных процессов, протекающих в токонесущей системе и определяющих их электрические параметры, нагрузочную способность, электродинамическую стойкость и т.п. в нормальных и аварийных режимах работы. Различными аспектами этой проблемы посвящено значительное число исследований. Однако, несмотря на обилие работ, задача расчета электромагнитных полей и их характеристик далека от завершения из-за отсутствия простых алгоритмов решения. Токопроводы обладают незначительным электрическим сопротивлением по сравнению с сопротивлением цепи, в которой они установлены. Их электромагнитное состояние определяется по ним током нагрузки цепи.

При формировании магистральных цеховых сетей, а также для питания мощных сварочных машин и электропечей применяются шинопроводы большого сечения, рассчитанные на токи 4000 А и более. Такие шинопроводы используются на напряжениях до 1000 В, расстояния между токоведущими частями весьма малы, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление шины. Учет этого эффекта традиционными методами связан с весьма сложными расчетами, мало приемлемыми в практике проектирования и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС). Кроме того, методика основывается на рассмотрении шинопровода как локального объекта, вне его связей с питающей СЭС. В связи с этим необходим новый, системный подход к моделированию шинопроводов, отличающийся тем, что предлагаемые модели непосредственно используются в задачах расчета установившихся режимов СЭС.

Несмотря на существующее многообразие методов исследования электромагнитных процессов, эта проблема далека от своего завершения. До сих пор задачи проектирования многих частей токоведущих систем и окружающих их проводящих конструкций решаются эмпирически или с помощью упрощенной теории, основанной на замене сложных геометрических форм конструктивных элементов простыми, реальных свойств проводящих материалов идеализированными, а также обобщении накопленного опыта, аналогиях и инженерной интуиции.

УДК 621.3

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ

Мухин Р.А., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

В распределительных устройствах (РУ) высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь общепринято применять токоведущие конструкции с гибкими проводами. Они имеют малое сопротивление изгибу и шарнирное крепление на порталных конструкциях. При протекании по ним токов короткого замыкания происходит взаимное сближение фазных гибких проводников РУ друг с другом или с заземленными конструкциями РУ. В ПУЭ нормированы минимальные допустимые расстояния между фазами, а также между фазами и заземленными конструкциями, при которых не возникает электрического пробоя изоляционных воздушных промежутков. При меньших расстояниях между ними возникает повторное КЗ. Возникновение первичного КЗ на шинах РУ электростанций и крупных подстанций маловероятно в связи с надежностью их конструкции, увеличенными междуфазными расстояниями, усиленной изоляцией и наличием постоянного обслуживающего персонала. Более вероятным и поэтому представляющим большую опасность является повторное КЗ на сборных шинах, возникающее в результате электродинамического действия тока первичного КЗ на ЛЭП, приводящее к отключению всех присоединений. На электрические аппараты РУ и опорные конструкции при этом воздействуют ударные нагрузки. Подобные явления возможны также на линиях электропередач, в цепях гибких токопроводов электростанций и промышленных предприятий.

В некоторых случаях из-за роста уровней токов КЗ в уже спроектированных и эксплуатирующихся распределительных устройствах с гибкими проводниками возможны случаи нарушения электродинамической стойкости. В связи с этой проблемой актуальным становится вопрос повышения электродинамической стойкости существующих токоведущих конструкций с минимальными затратами средств и времени.

В настоящее время все конструктивные элементы РУ высшего напряжения, эксплуатируемые в Республике Беларусь, подразделяются на стальные и железобетонные. Порталы ошиновки выполняются свободно стоящими в виде П-образных конструкций с заземленными на фундаментах стойками и шарнирным соединением стоек с траверсами. Траверсы и узкобазные стойки выполняются решетчатого типа с соединением на сварке внахлестку или с соединением элементов на болтах.

Гибкость проводов распределительных устройств позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов КЗ проводники соседних фаз начинают взаимодействовать: при двухфазном КЗ они вначале отталкиваются, затем сближаются; при трехфазном – два провода из трех движутся согласно с разными скоростями, поэтому вначале также происходит расхождение, а затем сближение проводников. В результате они могут сблизиться на недопустимое по условию электрической прочности изоляционного промежутка расстояние. При этом на электрические аппараты РУ и опорные конструкции воздействуют ударные нагрузки. КЗ на отходящих воздушных ЛЭП может сопровождаться вторичным КЗ на шинах РУ с последующим отключением всех присоединений. Это приводит к необходимости разработки методов расчета динамики гибких проводов при КЗ, с помощью которых можно было бы определить критерии электродинамической стойкости проводов – максимальные отклонения и тяжения

Выделяются две стадии движения проводов: вынужденное – под воздействием электродинамических усилий и свободное – после отключения КЗ. После отключения



движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода.

Наиболее действенным решением, не требующим больших материальных и временных затрат, является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих РУ. Но использование распорки в состав которой входят тарельчатые изоляторы, для РУ 110 кВ и выше представляется нецелесообразным из-за ее значительной массы и гибкости. В качестве альтернативы можно предложить распорки на основе современных полимерных стержневых изоляторов (рисунок 1). Основу такого изолятора составляет стержень из стеклопластика, который способен выдерживать значительные механические нагрузки во всех направлениях. Сверху такой стержень покрыт полимерной ребристой оболочкой для увеличения разрядных напряжений по поверхности. Подобные полимерные распорки применялись на ЛЭП 220 и 500 кВ для ограничения пляски проводов. Установка одной распорки в середине пролета значительно повышает электродинамическую стойкость пролета, а применение двух и более распорок может полностью исключить возможность недопустимого сближения гибких шин при любых возможных токах КЗ. Количество и место установки распорок должны определяться расчетом для каждого конкретного пролета.



Рисунок 1 – Распорка междуфазная изолирующая полимерная (РМИ)

Такие распорки применялись для пролетов проводов воздушных ЛЭП 220 кВ Черепетской ГРЭС (город Суворов Тульской области). Предварительные расчеты показали, что для обеспечения электродинамической стойкости пролета достаточно одного комплекта распорок, установленного в середине пролета. Однако для создания запаса стойкости и для снижения максимальных тяжений следует установить два комплекта распорок в каждой трети пролета

УДК 621.311.22

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

Ефременко А.А., Тукай П.А.

Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. В технической литературе распространён термин теплофикация – централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентралях. Отличием от теплофикации является утилизация тепла после получения электроэнергии (фактически использование вторичного энергоресурса – тепла после отработки в установках по производству электроэнергии). При теплофикации процесс выработки электроэнергии и тепла идет параллельно. Когенерация широко используется в энергетике, например на ТЭЦ (теплоэлектроцентралях) с установленными газотурбинными установками (ГТУ), где рабочее тепло (продукты сгорания) после использования в выработке электроэнергии применяется для нужд теплоснабжения. Тем самым значительно повышается КПД – до 90 % и даже выше.

Когенерационные установки – это оборудование, позволяющее вырабатывать электроэнергию и тепло одновременно.

Эти системы, по сравнению с существующими монопольными тарифами, позволяют существенно снизить затраты на потребляемую энергию, а так же решить важную проблему пиковых нагрузок и недостатков централизованных систем.

Когенерационные установки имеют большой ресурсный потенциал, а также преимущества в надежности, диапазоне мощностных ресурсов. Очевидным является и то, что монопольное владение электроэнергетическим рынком, подкрепленное технико-правовыми нормами и существующей практикой ставит промышленного, сельскохозяйственного и гражданского потребителя в безвыходное положение, вынуждая его к приобретению когенерационных установок.

Благодаря меньшим денежным затратам на строительство, использование когенерационных установок положительно повлияет на экономику страны.

Экологическая выгода от использования когенерационных систем так же является очевидной: их использование значительно уменьшает уровень выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

УДК 621.315.177

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Юшкевич А.М., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

Повышение уровней токов короткого замыкания, сооружение компактных воздушных линий сопровождается усилением тяжести электродинамического действия токов КЗ на гибкие проводники ВЛ. Короткие замыкания на ВЛ могут сопровождаться недопустимым сближением и схлестыванием фазных проводников и появлением значительных динамических усилий (максимальных тяжений), передающихся на опоры ВЛ. В соответствии с нормативными документами расстояния между фазами в момент их наибольшего сближения при КЗ не должны быть меньше минимальных допустимых расстояний выбранных по рабочему напряжению. Возникающие при КЗ кратковременные нагрузки могут превысить допустимые тяжения проводов.

Оценка электродинамической стойкости гибких проводников электроустановок производится по двум условиям: допустимого сближения фазных проводников по критерию электрической прочности воздушного промежутка и допустимых максимальных тяжений проводов при КЗ. Для нахождения параметров электродинамической стойкости необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ. Она сводится к решению нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, описывающих движение провода как механической системы с распределенной массой. Существующие подходы к решению указанной сложной задачи отличаются в первую очередь выбором расчетной модели гибкого провода и делятся на две группы:

- 1) упрощенные, основанные на расчетной модели провода в виде сосредоточенной массы;
- 2) методы, учитывающие распределение масс провода по длине пролета.

При использовании упрощенных методов провод представляется сосредоточенной массой, расположенной в центре масс провода, с одной или несколькими степенями свободы. Этот класс методов вычисления использует упрощенные аналитические выражения, описывающие воздействие токов короткого замыкания на шины. Они могут быть приспособлены к ручному счету с использованием калькулятора. Для экономии времени могут быть использованы персональные компьютеры с программами, включающими все формулы, диаграммы и таблицы, необходимые для расчета. Упрощенные методы дают возможность вычислять также нагрузки нормальных режимов (ветровые и гололедные с учетом температурных изменений) и позволяют получить оптимальное решение с достаточной точностью за короткий промежуток времени.

Однако упрощенные методы позволяют получить только максимальные значения расчетных параметров и не дают информации о развитии процесса во времени. При их применении нужно знать только основные данные, например, длину пролета, статическое тяжение, междуфазное расстояние, жесткость конструкций, данные по проводам, ток короткого замыкания и его длительность. Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника.

Указанные методы не учитывают жесткости провода на изгиб. Предполагается, что расщепленная фаза с двумя или более проводниками в пучке ведет себя приблизительно также как одиночный проводник эквивалентного сечения и массы.

Что касается продолжительности КЗ, то, как и во многих случаях при выборе и проверке оборудования на устойчивость к воздействию токов КЗ, рекомендуется учитывать «наихудший случай». Хотя наибольшая продолжительность КЗ не всегда вызывает

максимальное электродинамическое воздействие. Случай неуспешного АПВ также не рассматривается.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника. По этому методу провода, гирлянды изоляторов и поддерживающие конструкции заменяются конечным числом сосредоточенных масс, связанных между собой невесомыми пружинами. Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил. Совместное решение дифференциальных уравнений второго порядка с нелинейными правыми частями для всех узлов дает пространственное положение провода и тяжение для каждого момента времени. Недостатком метода является то, что он не имеет строгого обоснования по количеству выбираемых узлов многоугольника, что может привести к искажению результатов расчета.

В БНТУ для решения сложной задачи расчета электродинамической стойкости воздушных линий разработаны методы математического моделирования и вычислительного эксперимента. В расчетах провода ВЛ представляются гибкой упругой нитью движение которой под воздействием распределенных электродинамических усилий описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных гиперболического типа. Единственное решение этих уравнений, соответствующее заданному току КЗ и геометрии пролета, определяется начальными и граничными условиями. Численное решение поставленной краевой задачи производится разностным методом с использованием безусловно устойчивой неявной схемы. Для расположенных в вершинах произвольного треугольника фазных проводников расчетным видом КЗ является трехфазное короткое замыкание.

При проектировании ВЛ рекомендуется проверку их электродинамической стойкости проводить по компьютерной программе LINEDYS+ с определением начального положения проводов до КЗ в предусмотренных ПУЭ климатических режимах при трехфазном КЗ и продолжительности КЗ, определяемой временем действия основных защит, а также в цикле неуспешного АПВ.

УДК 621.3

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫБОРА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Карпилович А.В., Киселев П.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Вся коммутационная аппаратура распределительного устройства электрической станции и подстанции должна надежно работать в условиях длительных нормальных режимов, а также обладать достаточной термической и динамической стойкостью при возникновении самых тяжелых коротких замыканий. Поэтому при выборе коммутационных аппаратов РУ очень важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и кратковременным аварийным режимом, которые могут возникать при эксплуатации.

Кроме того, следует учитывать внешние условия работы РУ (влажность, загрязненность воздуха, окружающую температуру, высоту над уровнем моря), так как эти условия могут потребовать коммутационную аппаратуру специального исполнения, обладающую повышенной надежностью.

Разъединитель – это коммутационный аппарат, который предназначен для отключения и включения электрической сети без нагрузки либо с незначительной нагрузкой: намагничивающий ток силового трансформатора, остаточный ток кабельных и воздушных линий электропередач, а также ток нагрузки не более 15 А (в зависимости от типа коммутационного аппарата). Кроме того, разъединители предназначены для создания видимого разрыва цепи при отключении питания линии. Это необходимо, прежде всего, для безопасности при выполнении ремонтных работ. В данном случае аппарат создает видимый разрыв в цепи между оборудованием, которое выведено в ремонт и оборудованием, которое находится под рабочим напряжением.

В настоящее время широко внедряется автоматизированный выбор коммутационного оборудования. Ранее выбор оборудования заключался в долгом просмотре справочной литературы. В настоящее время стали появляться программы, которые упрощают и ускоряют выбор аппаратов. Для таких программ создаются базы паспортных данных аппаратов, существующих на данный момент. Программы строятся на сравнении критериев, по которым выбирается оборудование. Исходной информацией для выбора разъединителей являются: напряжение установки, номинальный ток, ударный ток и импульс квадратического тока КЗ. Для работы программы выбора разъединителей необходимо наличие файла каталожных данных. Эта информация находится в банке данных. Также необходим файл содержащий расчетные параметры цепей, где будут выбираться разъединители и признаки установки и типа разъединителя.

При работе программы выбора разъединителей определяется блок параметров в банке данных, соответствующих заданным условиям, затем производится выбор разъединителей. Банк каталожных данных разъединителей содержится в отдельном файле. Результаты выбора разъединителей и его параметры выводятся в табличной форме. Программа предназначена для выбора разъединителей электрических станций и подстанций. По программе одновременно может быть выполнен выбор четырех разъединителей для различных цепей главной схемы электрических соединений станции или подстанции.

В данной работе была обновлена база данных программы выбора разъединителей. Программа написана на алгоритмическом языке FORTRAN и содержит два файла исходных данных: VR1.DAT с банком каталожных данных разъединителей и VR2.DAT с описанием цепей, где выбираются разъединители, и программный модуль. После запуска программы производится выбор разъединителей по заданным параметрам. Полученные результаты сводятся в файл результатов в виде таблиц.

В ходе выполнения работы был обновлен банк данных разъединителей. В него были внесены параметры разъединителей, устанавливаемых в настоящее время.

УДК 621.311.4

## МОЛНИЕЗАЩИТА

Остроушко Г.А., Сарыев А.Н., Катрич А.Е., Дунченко Д.А.  
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Фактически, линейная молния это очень длинная искра, возникающая вследствие значительного напряжения между грозовой тучей и землёй, несущая электрический заряд. Разряд между облаком и землей обычно начинается с прорастания от облака к земле слабо светящегося канала, движущегося толчкообразно со средними скоростями от 100 до 1000 километров в секунду. Этот предварительный разряд назван ступенчатым лидером. Когда лидер достигает земли, начинается фаза главного разряда, воспринимаемая невооруженным глазом как собственно разряд молнии.

В результате прямого попадания молнии в здание возникает реальная угроза поражения электрическим током людей и животных, воспламенения, расплавления различных материалов, расщепления древесины и образования трещин в кирпиче и бетоне, заноса в здание высокого потенциала по инженерным коммуникациям проводам линий электропередач, трубопроводам с опасностью повреждения бытовой электроники. Но, даже в случае непрямого попадания, волна перенапряжения распространяется по коммуникациям на многие километры и способна мгновенно вывести из строя дорогостоящее оборудование вашего дома.

Для защиты зданий от этих нежелательных последствий удара молнии используется система различных типов молниезащиты. На сегодняшний день существуют: стержневой, тросовый тип молниезащиты, молниеприемная сетка и молниезащита с использованием активных молниеприемников. В 2007 году на белорусском рынке появились молниеприемники с упреждающей стриммерной эмиссией PREVECTRON 2 производства французской компании INDELEC. Эти устройства представляют собой улучшенную версию одиночного молниеприемника, воплотившую в себе самые последние разработки в области молниезащиты.

До недавнего времени не было проведено сколько-нибудь серьезных сравнительных испытаний, демонстрирующих преимущества и недостатки одного типа молниеотвода перед другим. Такие испытания провели в Институте электроэнергетики (Франция), где объектом стал активный молниеприемник.

В качестве оппонента «выступил» обычный стержневой молниеприемник. В ходе испытаний оба молниеприемника (МП) располагались на заземленной плоскости испытательного поля. Высоковольтный электрод, на который подавалось отрицательное напряжение, представлял собой плоскость с закругленными краями; длина промежутка составляла 2 м. Оба МП устанавливались симметрично относительно вертикальной оси промежутка на расстоянии, достаточном для исключения их взаимного влияния. При одном и том же значении напряжения производились серии по 20 разрядов и определялось соотношение числа разрядов с стержневого МП и активного МП. Результаты были таковы: при одинаковой высоте в 1 м, при всех 20 воздействиях срабатывал активный МП; при высоте активного МП 1 м, а обычного молниеприемника 1,02 м, при 20 воздействиях 19 раз срабатывал активный МП и 1 раз обычный МП; при высоте активного молниеприемника 1 м, а обычного молниеприемника 1,06 м, при 20 воздействиях 16 раз срабатывал активный МП и 4 раза обычный МП. Вывод очевиден: стабильное преимущество активного МП.

Компания INDELEC активно исследовала эффект опережающей стриммерной эмиссии и дорабатывала свои изделия с начала 90-х годов прошлого века на специально оборудованных полигонах во Флориде, Канаде, Бразилии, Японии.

С активной системой намного проще, поскольку все решается установкой над объектом одного активного молниеприемника. Выглядит он гораздо эстетичней, что имеет значение для зданий с архитектурными концепциями, и в итоге, оказывается более экономичным в

эксплуатации. Уход за активным громоотводом намного проще, чем за обычным. Отпадает необходимость постоянно контролировать множество соединений, которые в течение зимы под воздействием снега и льда могут повредиться и нуждаются в восстановлении.

В зависимости от типа головки активного молниеотвода и высоты, на которой она установлена, радиус территории, защищаемой таким молниеотводом, может составлять 100 метров, а потому защищёнными будут не только дом, но и стоящий рядом с ним автомобиль, а также постройки и прилегающая территория. Это означает, что там, где по классическим схемам защиты необходимо выстраивать сложную систему штыревых молниеприемников, достаточно поставить один активный молниеотвод и степень защиты будет как минимум на том же уровне, что и по классической схеме. Существует миф, что активные молниеприемники притягивают молнии. На самом деле и пассивный, и активный молниеотводы защищают строения, притягивая молнии к себе, только у активного молниеотвода радиус защиты больше.

УДК 621.3

## СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Олипа А.С., Баран А.Г.

Научный руководитель – инженер Андрукевич А.П.

Современные токоограничивающие реакторы отличаются большей долговечностью и меньшими массогабаритными показателями в сравнении с их бетонными предшественниками. Их механическая прочность и температурная стойкость позволяет выдерживать большие ударные нагрузки при токах короткого замыкания.

Сухие реакторы относятся к новому направлению в конструировании токоограничивающих реакторов. В одном из вариантов конструкции сухого реактора обмотки выполняются в виде кабелей, обычно прямоугольного сечения для уменьшения габаритов и повышения механической прочности, с кремнеорганической изоляцией, намотанных на диэлектрический каркас.

Большинство генерирующих станций, электросетей, распределительных подстанций и промышленных предприятий сменили бетонные устаревшие модели на усовершенствованные токоограничивающие реакторы сухого типа. Применение новых европейских технологий позволило снизить массу реакторов и уменьшить их габариты.

Конструктивно реакторы представляют собой катушки с обмоткой из многожильного, иногда транспонированного, провода круглого сечения или из алюминиевой или медной ленты.

Для изоляции обмоток реактора применяется кремнийорганическая изоляция и изоляция из полиамидной пленки в сочетании со стеклянными нитями и клеем. Преимуществом применения кремнеорганической изоляции является большая термостойкость, устойчивость к электродинамическим нагрузкам, эластичность, герметичность, неизменность диэлектрических и механических свойств, при длительном времени эксплуатации. В другой конструкции реакторов провод обмотки изолируется полиамидной плёнкой, а затем двумя слоями стеклянных нитей с проклейкой и пропиткой их кремнеорганическим лаком и последующим запеканием, что соответствует классу нагревостойкости Н, с рабочей температурой до 180 °С.

В зависимости от места установки и особенностей распределительных устройств трехфазный комплект реактора может иметь вертикальное, ступенчатое и горизонтальное расположение фаз. При горизонтальной и ступенчатой установке фаз реакторов необходимо строго выдерживать, указанные в паспорте, минимальные расстояния между осями фаз, определяемые допустимыми горизонтально действующими усилиями при гарантированной электродинамической стойкости.

Угол между выводами обмотки фазы обычно составляет 0°; 90°; 180°; 270°, но также в настоящее время производители предоставляют возможность заказа изготовления выводов под любым углом.

Для обеспечения надежной и безопасной работы токоограничивающие реакторы проходят ряд испытаний.

Защитные экраны минимизируют циркуляцию петлевых токов и оптимизируют размеры реактора за счет лучшего охлаждения и более низкого темпа роста температуры. При использовании реактора с защитным экраном, стойкость при протекании тока короткого замыкания определяется для всей конструкции в целом.

Лидирующие производители сухих токоограничивающих реакторов используют для расчета системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют достичь максимальной точности расчетов за минимальное время. Данный подход позволяет получить наиболее подробную информацию о процессах протекающих в реакторе.



На сегодняшний день лидерами в направлении разработки и производства сухих токоограничивающих реакторов в России являются: группа «СвердловЭлектро», группа компаний «Трансформер», предприятие ООО «КПМ», Свердловский Завод Высоковольтного Оборудования «СЗВО».

УДК 621.3

## ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ РЕАКТОРОВ

Дурдымырадов К.Г., Свитин М.В., Олипа А.С., Лапко Д.А.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Автоматические выключатели, осуществляя отключение цепей при коротких замыканиях, не защищают эти цепи от разрушающего действия электродинамических сил. В современных мощных сетях токи короткого замыкания, а, следовательно, и электродинамические силы бывают настолько велики, что часто не представляется возможным выполнить установки с требуемой электродинамической и термической стойкостью. С целью ограничения ударного тока короткого замыкания (КЗ) в мощных сетях применяются токоограничивающие реакторы, которые устанавливаются на отходящих фидерах и между секциями сборных шин.

На напряжения до 35 кВ и для внутренней установки почти исключительное распространение получили бетонные реакторы. Благодаря своей эластичности провод демпфирует термические и динамические усилия и тем самым частично снимает напряжения с бетона. Обмотки реактора на большие токи выполняются из нескольких параллельных проводов с транспозицией этих параллелей, обеспечивающей равномерное распределение токов.

Шунтирующий реактор (ШР) – это статическое электромагнитное устройство, обладающее большой индуктивностью и очень малым активным сопротивлением. ШР применяют для повышения пропускной способности линий сверхвысокого напряжения, регулирования реактивной мощности и напряжения. Шунтирующие реакторы рассчитаны на напряжения 35–750 кВ и могут, как присоединяться к линии, так и включаться на шины подстанции.

Дугогасящие реакторы применяются для заземления нейтрали трехфазных сетей 6, 10, 35 кВ.

Из-за распределенной по линии электропередач или кабелю емкости, при ОЗЗ в месте повреждения изоляции возникает емкостной ток. Если он превышает 20 – 30 А, возникает электрическая дуга, горение которой разрушает изоляцию и проводник кабеля, что может приводить к переходу ОЗЗ в двух или трёхфазное замыкание и отключению линии релейной защитой. Таким образом, потребитель электроэнергии может временно лишиться электроснабжения.

Современные ДГР оснащаются цифровыми системами управления, возможности которых намного шире, чем только измерение емкости сети и регулировка индуктивности реактора. Это и сбор статистики замыканий, и телеметрия, и помощь персоналу в поиске поврежденных линий и многое другое.

В 1996 – 2000 гг. на Раменском электротехническом заводе «Энергия» было освоено серийное производство принципиально нового вида электротехнического оборудования – управляемых подмагничиванием дугогасящих реакторов серии РУОМ (реактор управляемый однофазный масляный) для сетей с изолированной нейтралью 6 – 35 кВ.

Плавное регулирование тока РУОМ в широком диапазоне обеспечивается насыщением участков магнитопровода, на которых расположены секции обмотки, с помощью встроенного теристорного преобразователя, угол открытия которого управляется регулятором САНК в соответствии с заданным текущим значением емкостного тока замыкания на землю. В режиме холостого хода при отсутствии управления амплитуда переменного потока не превышает индукции насыщения стали, и ток реактора составляет несколько процентов от номинального значения.

К настоящему времени в электрических сетях РФ и за рубежом эксплуатируются несколько десятков дугогасящих реакторов данного типа. Опыт эксплуатации показал, что они, по крайней мере, втрое уменьшают количество замыканий на землю и полностью

предотвращают их переход в короткие замыкания сети. По массе, габаритам и условиям эксплуатации реакторы типа РУОМ соизмеримы с известными дугогасящими реакторами электромеханического типа и могут устанавливаться вместо устаревших реакторов аналогичного назначения без изменений в строительной части проекта.

В настоящее время возрастают требования к надежности электроснабжения потребителей, и задачи по снижению удельных затрат на строительство новых ЛЭП. Таким образом, мы, рассмотрев основные виды современных дугогасящих, шунтирующих и токоограничивающих реакторов можем сделать вывод, что эти задачи успешно выполняются. В настоящий момент идет повсеместная замена устаревших бетонных токоограничивающих реакторов на сухие токоограничивающие реакторы и замена неуправляемых шунтирующих реакторов на управляемые что позволяет значительно повысить устойчивость энергосистем.

УДК 621.311.4

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ

Голотин И.А., Францевич Р.Г., Махнач Д.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

Под электродинамической стойкостью гибких проводников электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов короткого замыкания (КЗ) до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. Согласно ПУЭ, наименьшим током, начиная с которого необходимо проверять гибкие шины РУ на схлестывание или опасное сближение, является ток трёхфазного КЗ в 20 кА.

Расчёт параметров электродинамической стойкости токоведущих конструкций с гибкими проводниками производится по разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ компьютерной программе FLEBUS. В программе FLEBUS применена расчётная модель провода в виде гибкой упругой нити. Представление провода расчётной моделью с распределённой массой позволяет более точно выполнить расчёт электродинамического взаимодействия. Движение провода описывается нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных с переменными коэффициентами. Решить нелинейные уравнения движения провода классическим методом не удаётся. Для этого использован численный метод, где производные представлены конечными разностями. Однако численные методы позволяют найти только частное решение задачи динамики провода при КЗ.

Для обобщения частных численных решений задачи динамики провода при КЗ его уравнения движения решены в безразмерной форме. В процессе преобразования уравнений движения к безразмерной форме выявлены сочетания и комбинации параметров, одинаковые для подобных решений задачи. В теории подобия их называют критериями подобия. Подобие механических систем включает в себя геометрическое, кинематическое и динамическое подобия, требующие параллельности и пропорциональности скоростей и сил в любых сходных точках системы. После приведения к безразмерной форме уравнения движения провода с учётом малой стрелы провеса в полёте принимают вид:

$$T_* \frac{d^2 y_*}{dx_*^2} + \pi_D = \frac{d^2 y_*}{dt_*^2}, \quad (1)$$

$$T_* \frac{d^2 z_*}{dx_*^2} + \pi_\Gamma = \frac{d^2 z_*}{dt_*^2}, \quad (2)$$

где  $x_* = \frac{x}{l}$ ;  $y_* = \frac{y}{f_0}$ ;  $z_* = \frac{z}{f_0}$  – относительные декартовы координаты мгновенного положения провода;

$T_*$  – кратность динамического тяжения относительно начального;

$t_*$  – текущее время в относительных единицах;

$\pi_D, \pi_\Gamma$  – соответственно динамический и геометрический критерии подобия.

Текущее время в относительных единицах можно найти по формуле:

$$t_* = \omega_c \cdot t, \quad (3)$$

где  $\omega_c$  – собственная частота колебаний провода,  $c^{-1}$ .

Собственная частота колебаний провода с малой стрелой провеса определяется по формуле:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{T_0}{\rho_{\text{э}} \cdot l^2}}, \quad (4)$$

где  $T_0$  – начальное тяжение провода, Н;

$\rho_{\text{э}}$  – приведённая масса одного метра провода, кг/м;

$l$  – длина пролёта.

Одинаковые решения могут иметь системы с гибкими проводниками, имеющие одинаковые геометрический  $\pi_{\Gamma}$  и динамический  $\pi_{\text{д}}$  критерии подобия.

Геометрический критерий подобия находится по выражению:

$$\pi_{\Gamma} = \frac{p_z \cdot l^2}{T_0 \cdot f_0}, \quad (5)$$

где  $p_z$  – нагрузка на гибкие проводники по оси  $z$  (вес провода, гололёд, вес натяжных гирлянд изоляторов);

$f_0$  – стрела провеса провода.

Критерий динамического подобия рассчитывается с использованием эквивалентных ЭДУ за время короткого замыкания.

$$\pi_{\text{д}} = \frac{f_{\text{э}}^{(2)} \cdot l^2}{T_0 \cdot f_0}, \quad (6)$$

где  $f_{\text{э}}^{(2)}$  – эквивалентная ЭДУ при двухфазном КЗ, даН/м.

Эквивалентная ЭДУ рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{э}}^{(2)} = 0,2 \frac{(I_{\text{п},0}^{(2)})^2}{a}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{п},0}^{(2)}$  – периодическая составляющая тока двухфазного КЗ, кА;

$a$  – междуфазное расстояние, м.

Начальное тяжение провода определяется из выражения:

$$T_0 = \frac{P_{\text{э}} \cdot l^2}{8 \cdot f_0}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{э}}$  – приведённый вес одного метра провода, даН/м.

Если подставить значение  $T_0$  в (6), то можно получить более простой критерий динамического подобия:

$$\pi_{\text{д}} = 8 \cdot \frac{f_{\text{э}}^{(2)}}{P_{\text{э}}}, \quad (9)$$

Приведённый вес провода – это вес провода с учётом натяжных гирлянд изоляторов и спусков к аппаратам. Он находится по формуле:

$$P_{\text{э}} = P_0 \cdot c, \quad (10)$$

где  $P_0$  – вес одного метра провода, даН/м;

$c$  – коэффициент нагрузки пролёта.

В результате выполнения работы получены графические зависимости, обобщающие частные численные решения дифференциальных уравнений движения провода. С их помощью можно без использования компьютерной программы быстро определить максимальное отклонение провода от положения равновесия, зная лишь начальное тяжение фазы, стрелу провеса, удельный вес провода, междуфазное расстояние и ток КЗ.

УДК 621.3

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ**

Дроздов А.А., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

Асинхронизированные машины – новый класс электрических машин, обладающих рядом преимуществ по сравнению с традиционными синхронными машинами, благодаря чему обеспечивается более надежная, устойчивая и экономичная работа электроэнергетической системы в целом.

Основной отличительной особенностью асинхронизированных машин от обычных синхронных машин является наличие двух–трех обмоток возбуждения.

Для нормализации уровней напряжения из-за перетоков реактивной мощности между сетями различных классов напряжений персонал электростанций, работающих на шины 110–500 кВ, вынужден переводить турбогенераторы в режимы потребления реактивной энергии. Это позволяет несколько снизить уровни напряжения, но со временем приводит к ускоренному износу этих турбогенераторов, а в ряде случаев и к аварийным отключениям из-за разрушения торцевых зон статоров, т. к. синхронные турбогенераторы не рассчитаны на эти режимы. В некоторой степени проблема регулирования перетоков реактивной мощности может быть решена за счет применения асинхронизированных турбогенераторов.

Классический асинхронизированный турбогенератор имеет на роторе, в отличие от синхронных, две одинаковые обмотки возбуждения, расположенные под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Каждая из обмоток возбуждения подключена к управляемым реверсивным тиристорным возбудителям. Последние питаются от согласующего трансформатора (схема самовозбуждения) или от вращающегося возбудительного генератора. В цепи каждой обмотки имеются устройства защиты от перенапряжений, устройства замыкания обмоток ротора накоротко или на дополнительные симметрирующие сопротивления, автоматы гашения поля. Управление возбуждением осуществляется с помощью автоматического регулирования возбуждения, получающего информационные сигналы от датчиков: углового положения ротора, токов и напряжений.

Система управления асинхронизированными турбогенераторами реализует принципиальное свойство асинхронизированных машин – независимость регулирования электромагнитного момента и напряжения. Регулирование напряжения может осуществляться эффективно во всех режимах генератора по активной нагрузке и реактивной мощности и не влияет на общую устойчивость генератора.

Структура двух обмоток возбуждений с несовпадающими осями и наличие реверсивных возбудителей у каждой обмотки дает возможность в переходных режимах оптимально ориентировать магнитодвижущую силу генератора с целью создания максимального тормозящего электромагнитного момента.

Результаты исследований асинхронизированных турбогенераторов показали, что уровень их динамических ограничений мало зависит от режима по РМ и выше, чем у синхронных аналогов, которые в режимах потребления РМ требуют глубокого снижения нагрузки. При механических возмущениях наличие в группе АСТГ оказывает положительное влияние на динамические процессы параллельно работающих синхронных турбогенераторов, а в случае работы в группе только асинхронизированных турбогенераторов самораскачивание отсутствует, переходные процессы затухают очень быстро.

Уровень динамических ограничений асинхронизированных турбогенераторов мало зависит от режима по реактивной мощности и выше, чем у синхронных аналогов, которые в режимах потребления реактивной мощности требуют глубокого снижения нагрузки.

Применение асинхронизированных турбогенераторов позволяет повысить КПД электростанции. Асинхронизированный турбогенератор имеет наибольший КПД в режиме потребления реактивной мощности, в то время как максимальный КПД синхронного генератора соответствует выдаче реактивной мощности.

Синхронный компенсатор представляет собой ненагруженный синхронный электродвигатель с широким диапазоном регулирования тока возбуждения. По сравнению с обычным синхронным двигателем СК изготавливаются с облегченным валом, они имеют меньшие размеры и массу.

Если ток возбуждения уменьшать (режим недовозбуждения), то в токе, потребляемом синхронным компенсатором от сборных шин подстанции, появится и будет увеличиваться индуктивная составляющая, что соответствует потреблению из сети реактивной мощности, при этом возрастают потери в сети. В режиме перевозбуждения ток возбуждения превышает ток холостого хода, синхронный компенсатор потребляет из сети опережающий ток, что соответствует выдаче реактивной мощности.

Передача реактивной мощности потребителям от генераторов электростанций сопряжена с потерями энергии в линиях электропередачи, трансформаторах и распределительных сетях. Поэтому считается выгодным снижение реактивной мощности, получаемой от электростанций, и выработка ее вблизи потребителей. Это позволяет уменьшить потери энергии и напряжения в сетях, увеличить пропускную способность линий электропередачи и одновременно повысить уровни напряжений на шинах приемных подстанций. Таким образом, синхронные компенсаторы являются экономичным регулируемым источником реактивной мощности в электрических системах.

По отношению к сети синхронный компенсатор ведет себя в зависимости от значения тока возбуждения как индуктивность или емкость, выполняя соответственно роль потребителя или источника реактивной мощности.

В настоящее время внедрена тиристорная система возбуждения. Широкое применение нашла система бесщеточного возбуждения. В нормальных условиях работы регулирование возбуждения СК производится автоматически, однако возможно и ручное регулирование. При пуске синхронного компенсатора напряжение на трансформатор, преобразователь и систему управления тиристорами подается одновременно с включением пускового выключателя. Управляющие импульсы на тиристоры подаются после включения рабочего выключателя. В момент включения рабочего выключателя ток возбуждения равен нулю. Автоматическое регулирование возбуждения включается лишь после автоматической подстройки его уставки к напряжению на шинах синхронного компенсатора, т.е. через несколько секунд после включения рабочего выключателя. Установленный режим работы синхронного компенсатора может самопроизвольно изменяться в результате изменения по тем или иным причинам внешнего напряжения, а также при коротких замыканиях в сети. В последнем случае необходима автоматическая форсировка возбуждения, чтобы поддержать устойчивость параллельной работы электростанций и уменьшить колебания напряжения у потребителей. В нормальных условиях работы регулирование возбуждения синхронного компенсатора производится автоматически, однако возможно и ручное регулирование. Система бесщеточного возбуждения снабжена защитой от внутренних коротких замыканий в цепях ротора и защитой тиристорного преобразователя от сверхтока. При неисправности в системе возбуждения сигналы передаются на щит управления.

Нормальная работа синхронного компенсатора возможна при отводе тепла охлаждающей средой – воздухом или водородом. Применяемая в синхронных компенсаторах система охлаждения называется косвенной (или поверхностной), потому что тепло передается охлаждающему газу внешней поверхностью активных частей машины.

На случай внезапного повреждения водородной системы и загорания струи водорода около синхронного компенсатора должен всегда находиться баллон с диоксидом углерода и шланги, позволяющие ликвидировать загорание на любом участке водородной системы.

УДК 621.311.4

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Бабаханов А.М., Джуманазаров К.Ч., Шпаковский А.А., Баран А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

При нормальных эксплуатационных условиях электродинамические силы, как правило, малы и не вызывают каких-либо деформаций, а тем более поломок деталей в аппаратах. Однако при коротких замыканиях эти силы достигают весьма больших значений и могут вызвать деформацию или разрушение не только отдельных деталей, но и всего аппарата. Это обстоятельство требует проведения расчета аппарата (или отдельных его узлов) на электродинамическую устойчивость, т. е. на способность выдержать без повреждений прохождение наибольшего возможного в эксплуатационных условиях (или заданного) тока короткого замыкания. Такой расчет тем более необходим ввиду того, что с целью получения минимальных габаритов в аппаратах стремятся располагать токоведущие части как можно ближе друг к другу.

Для расчета электродинамических усилий (ЭДУ) используется два способа. Первый заключается в рассмотрении силы как результата взаимодействия проводника с током и магнитного поля.

Этот способ применяется, когда индукцию в любой точке проводника можно найти аналитически, используя закон Био – Савара – Лапласа.

Второй способ основан на использовании энергетического баланса системы проводников с током. Электростатическая энергия системы не учитывается. При этом принимается, что независимо от перемещения или деформации токоведущих контуров под действием сил ЭДУ токи в них неизменны

Однако при коротких замыканиях эти силы достигают весьма больших значений и могут вызвать деформацию или разрушение не только отдельных деталей, но и всего аппарата. Это обстоятельство требует проведения расчета аппарата (или отдельных его узлов) на электродинамическую устойчивость, т. е. на способность выдержать без повреждений прохождение наибольшего возможного в эксплуатационных условиях (или заданного) тока короткого замыкания. Такой расчет тем более необходим ввиду того, что с целью получения минимальных габаритов в аппаратах стремятся располагать токоведущие части как можно ближе друг к другу. Так как переменный ток при отсутствии апериодической составляющей отличается от постоянного изменением силы тока и направлением изменяющихся по синусоидальному закону, то и электродинамическая сила будет иметь переменное значение.

Наибольшая величина этих электродинамических усилий определяется максимальным возможным током короткого замыкания, т. е. ударным током короткого замыкания  $i_y$ . Поэтому начальный момент короткого замыкания ( $t = 0,01$  с) является наиболее опасным с точки зрения величины динамических усилий.

При прохождении через выключатель сквозного тока короткого замыкания или при включении на существующее в сети короткое замыкание отдельные его части – вводы, токоведущие стержни, траверсы, штанги и др., а также соответствующие шины и ошиновка – подвергаются внезапной механической нагрузке, носящей характер удара.

В современных мощных электрических системах при напряжениях 6 – 20 кВ ударные токи короткого замыкания могут достигать значений до 200 – 300 кА и более, а электродинамические усилия при этом достигают нескольких тонн на один пролет сборных шин (или шинопроводов) длиной 1 – 1,5 м.

В таких условиях недостаточная механическая прочность того или иного элемента электрического оборудования может послужить причиной дальнейшего развития аварии и вызвать серьезные разрушения в распределительном устройстве. Поэтому для надежной работы всякой электрической установки все ее элементы должны обладать



электродинамической устойчивостью (надлежащей механической прочностью), т. е. противостоять воздействиям при коротких замыканиях.

При определении электродинамических усилий по приведенной выше формуле исходят из условия, что ток протекает по оси круглых проводников, диаметр которых не оказывает влияния на величину усилий. Следует заметить, что размеры и форма сечения проводников при больших расстояниях между ними не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на величину электродинамических усилий.

Если же проводники имеют форму прямоугольных полос и расположены на небольшом расстоянии друг от друга, когда расстояние в свету меньше периметра полосы, то размеры их сечения могут оказать существенное влияние на электродинамические усилия. Это влияние поперечных размеров проводника при расчетах учитывается при помощи коэффициента формы.

УДК 621.3

## АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Францевич Р.Г., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.

Система возбуждения предназначена для питания обмотки возбуждения синхронной машины постоянным током и соответствующего регулирования тока возбуждения.

Системы возбуждения относятся к числу наиболее ответственных элементов генератора. Несмотря на то, что относительная мощность возбудителей невелика и составляет всего 0,4 – 0,6 % мощности генераторов, их характеристики существенно влияют как на устойчивость работы генераторов, так и на устойчивость двигательной нагрузки собственных нужд электростанции. Последнее очень существенно для обеспечения устойчивости технологического режима мощных блочных станций.

Развитие электроэнергетики сопровождается ростом единичных мощностей турбогенераторов, а соответственно, и мощностей их возбудительных систем. В результате этого тока возбуждения получаются очень большими, и проблема обеспечения надежной работы щеточно-контактного аппарата становится все более сложной. Радикальным способом решения этой проблемы является применение бесщеточных возбудителей.

Целью данной работы является анализ бесщеточных, в том числе бесщеточных фототиристорных систем возбуждения, а также изучение способов передачи импульсов управления тиристорами на вращающиеся элементы.

Источником энергии для питания обмотки возбуждения генератора является вспомогательный синхронный генератор обращенного исполнения, у которого якорная обмотка вращается, а индукторная неподвижна. Возбуждение вспомогательного генератора осуществляется от возбудителя.

Ток от вращающейся обмотки переменного тока вспомогательного генератора подводится через проводники, закрепленные на валу, к вращающемуся полупроводниковому выпрямителю, обычно кремниевому. Выпрямленный ток подводится непосредственно к обмотке возбуждения основного генератора.

Регулирование тока возбуждения в обмотке ротора производится изменением тока в обмотке возбуждения вспомогательного генератора.

Системы бесщеточные диодные 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.

В синхронных компенсаторах мощностью 50–160 МВ·А возбуждение бесщеточное, с применением реверсивной системы, с двумя обмотками на роторе. Основная обмотка служит для положительного возбуждения, а дополнительная обмотка создает встречный поток. Магнитодвижущая сила дополнительной обмотки составляет около 15 % магнитодвижущей силы основной обмотки. К основной обмотке ротора подключен диодный бесщеточный возбудитель положительного возбуждения, к дополнительной обмотке – возбудитель отрицательного возбуждения меньшей мощности. Возбудители выполнены герметично закрытыми. Они установлены с обеих сторон компенсатора. Якоря обращенных генераторов и блоки выпрямителей расположены на валу компенсатора.

Вращающийся выпрямитель выполняется в виде двух вентильных цепей. Платы, на которых крепятся вентили, имеют сварную конструкцию и омедненные контактные поверхности в местах крепления диодов.

Возбуждение компенсатора регулируется при помощи АРВ. В шкафах АРВ размещены тиристорный преобразователь, электронная система управления, устройства защиты и магнитные усилители. Напряжение возбуждения возбудителя регулируется изменением фазы

импульсов, отпирающих тиристоры, относительно анодного напряжения. Фаза управляющих импульсов может изменяться автоматически и вручную. Основным режим регулирования автоматический. В случае неисправности АРВ переходят на ручное управление.

Устройство управления фототиристорами вращающегося выпрямителя содержит связанные с валом фотоприемники и связанные со статором излучающие сигнальные элементы, выполненные в виде излучателей. Число приемных окон световодов равно числу плеч выпрямителя. Число излучателей равно числу пар полюсов  $P$  возбудителя и расположены они с возможностью оптического контакта с приемными окнами световодов через воздушный зазор.

Устройство синхронизации выполнено в виде датчика, число связанных со статором чувствительных элементов которого равно числу излучателей, а число связанных с валом сигнальных элементов равно числу фотоприемников. Сигнальные элементы расположены равномерно. Излучатели и чувствительные элементы размещены в обоймах, укрепленных с возможностью поворота в пределах двойного полюсного деления возбудителя.

Действие устройства синхронизации заключается в том, что при вращении вала в чувствительных элементах при поочередном прохождении мимо них сигнальных элементов за каждый оборот вырабатываются серии импульсов синхронизации с последующей паузой, причем количество импульсов в серии равно числу сигнальных элементов, которое соответствует числу плеч вращающегося фототиристорного выпрямителя. Порядок следования импульсов в серии повторяет порядок прохождения сигнальных элементов мимо чувствительных, а интервалы между импульсами синхронизации соседних чувствительных элементов соответствуют принимаемым условиям, в зависимости от частоты тока и циклической частоты вращения вала.

Устройство бесконтактного контроля бесщеточного возбудителя содержит электронную аппаратуру, регистрирующую по отсутствию тока в шинах вышедшие из строя вентили, расположенную вне возбудителя, и электромагнитные датчики тока, расположенные на неподвижной части возбудителя вблизи шин переменного тока. Электромагнитные датчики тока помещены в открытые пазы шихтованного сердечника на валу возбудителя и соединяют фазные ветви обмотки якоря с мостовым выпрямителем, в плечах которого последовательно анодным и катодным вентилям включены предохранители.

Также известно устройство бесконтактного контроля бесщеточного возбудителя с мостовым выключателем, а не с мостовым выпрямителем.

В этом устройстве бесконтактного контроля количество импульсов ЭДС, наведенных в электромагнитных датчиках тока, соответствует числу и взаиморасположению шин переменного тока только при токах, составляющих 5 – 8 % номинального значения тока возбудителя.

Повышение эксплуатационной надежности достигается тем, что шины переменного тока выполнены с прямоугольным поперечным сечением и обращены своей узкой гранью в сторону рабочей поверхности электромагнитных датчиков тока.

При вращении якоря возбудителя формирование импульса наведенной ЭДС в обмотке электромагнитного датчика тока происходит в узкой угловой зоне, соответствующей высокой концентрации магнитного поля около узкой грани шины переменного тока.

Устройство бесконтактного контроля применяется, как правило, в бесщеточных системах возбуждения мощных турбогенераторов, поэтому обеспечение высокой надежности его срабатывания позволяет предотвратить отключение средствами защиты всего энергетического блока по причине ложных срабатываний устройства и тем самым исключить большие потери в выработке электроэнергии из-за простоя оборудования и избежать большого экономического ущерба.

Применение бесщеточных возбудителей обусловлено благодаря их главному достоинству – отсутствию скользящего контакта в цепи обмотки ротора турбогенератора. Системы бесщеточного возбуждения интенсивно совершенствуются и являются перспективными, особенно для турбогенераторов большой мощности – 300–1200 МВт.

УДК 621.316

## СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью, действующей без выдержки времени, и применяется для организации защиты электрических машин, силовых трансформаторов, сборных шин и присоединений всех уровней напряжения.

Дифференциальная защита вычисляет сумму всех токов, втекающих и вытекающих из защищаемой зоны. Пренебрегая токами намагничивания и емкостными токами, можно сказать, что указанная сумма всегда будет равна нулю (согласно закону Кирхгофа), если защищаемый объект не поврежден. Внутренние повреждения обнаруживаются за счет того, что появляется дифференциальный ток.

Используются три способа отстройки от токов намагничивания.

Первый из них заключается в применении быстросыщающихся промежуточных ТТ (НТТ), через которые включаются дифференциальные реле тока. НТТ не пропускает апериодическую составляющую тока, составляющего значительную часть тока намагничивания, и позволяет, таким образом, надежно отстроить дифференциальные реле от периодической составляющей намагничивающих токов.

Второй способ, примененный в реле типа ДЗТ-21, основан на использовании различия времени  $\Delta t$  бестоковых пауз в дифференциальном реле при броске тока намагничивания трансформатора и при токе КЗ для блокирования действия реле в сочетании с торможением второй гармонической составляющей тока намагничивания (отсутствующей в кривой тока КЗ).

Третий способ состоит в отстройке тока срабатывания реле от тока намагничивания по величине. Такой способ используется в дифференциальной отсечке, но он может применяться только при токе КЗ, превышающем бросок намагничивания.

Дифференциальная защита трансформатора обладает рядом дополнительных функций (функцией выравнивания коэффициентов трансформации, учета фазового сдвига группы соединения обмоток силового трансформатора, функцией торможения при бросках тока намагничивания и в случае перевозбуждения) и, тем самым, при расчете уставок и конфигурировании защиты требуется учет некоторых основных положений.

При включении силового трансформатора под напряжение имеет место одностороннее его перевозбуждение в связи с наличием остаточного магнитного потока, что вызывает значительное увеличение тока (БНТ).

Магнитный поток не уменьшается до нуля, когда силовой трансформатор отключается от сети, а остается на некотором уровне  $\Phi_{Rem}$ , который может превышать 80 % номинальной магнитной индукции. Когда вновь производится включение силового трансформатора под напряжение, магнитный поток начинает увеличиваться именно с точки, соответствующей уровню остаточного магнитного потока. В зависимости от фазы напряжения в момент включения трансформатора под напряжение, может произойти смещение магнитного потока. Большие значения магнитного потока диапазона насыщения обуславливают большой ток намагничивания и характерные периодические его броски. Форма кривой БНТ соответствует полуволнам выпрямленного периодического тока, который затухает с большой постоянной времени.

Бросок тока намагничивания особенно значителен, когда магнитопровод из холоднокатанной стали с номинальной индукцией (1,6 – 1,8 Тл) работает в условиях близких к индукции насыщения (приблизительно 2 Тл). В трехфазных силовых трансформаторах будет характерен трехфазный БНТ, который зависит от группы соединения обмоток силового

трансформатора и способа заземления нейтрали трансформатора. В общем случае, две фазы войдут в насыщение и будут характерны значительные токи намагничивания.

На двух трансформаторных подстанциях (где два силовых трансформатора соединены в параллель) при включении под напряжение одного трансформатора происходит ложное срабатывание дифференциальной защиты трансформатора, находящегося в работе. Причиной тому является индуцированный БНТ, который возникает из-за включения под напряжения одного из трансформаторов.

Бросок тока намагничивания втекает в защищаемый объект с одной стороны при этом защита воспринимает его как внутреннее КЗ. Дифференциальная защита трансформатора не должна срабатывать в подобной ситуации. Факт большого содержания второй гармоники в БНТ уже использовался для торможения при реализации защиты на традиционной элементной базе. Вторая гармоника отфильтровывается из дифференциального тока (рабочего тока), а затем используется в качестве дополнительной величины торможения. При содержании второй гармоники в дифференциальном токе приблизительно в 15 % (по отношению к основной) характерным являлось значительное дополнительное торможение для предотвращения ложного срабатывания защиты. Другие производители осуществляли сравнение токов основной гармоники и второй гармоники непосредственно при помощи отдельной дифференциальной цепи, которая затем осуществляла блокирование защиты, что и реализуется программным образом в современных цифровых устройствах защиты.

Наличие гармоник низшего порядка может выступать критерием, разрешающим срабатывание защиты, а содержание гармоник высшего порядка, наоборот, являться критерием проявления БНТ и использоваться для блокировки действия защиты.

Наиболее простой подход – использование амплитуды тока второй гармоники в дифференциальном токе по данной фазе в качестве сигнала комбинированного гармонического тока и амплитуды основной гармоники в дифференциальном токе по той же фазе в качестве комбинированного дифференциального тока.

Другой способ – использовать в качестве комбинированного дифференциального тока действующее значение.

Существует два метода отстройки на основе оценки кривой тока.

Первый и наиболее распространенный способ использует в качестве критерия идентификации БНТ значение пауз между импульсами тока. Второй способ производит оценку знака максимального значения тока и скорости затухания БНТ.

Также существует ряд иных способов, основанных на оценке параметров математической модели. Производится вычисление либо определенных параметров модели на основе информации об измеренных величинах, либо производится вычисление ряда величин на выводах трансформатора, а затем их сравнение с измеренными величинами.

Метод вычисления и оценки значения дифференциальной мощности.

Осуществляется вычисление и контроль значения дифференциальной мощности. Сигналом, оценка которого производится, здесь является разность между значениями мгновенных мощностей на выводах трансформатора. При применении данного метода необходимо измерение токов и напряжений со всех сторон трансформатора, однако не требуется выполнение учета группы соединения его обмоток и отличия коэффициентов трансформации, используемых защитой ТТ. Надежность идентификации БНТ может быть повышена путем компенсации активных потерь в трансформаторе, как в меди, так и в стали.

Метод вычисления и оценки значения магнитной индукции.

При использовании данного алгоритма отличие режима внутреннего КЗ от режимов БНТ и перевозбуждения производится на основе вычисления магнитной индукции в сердечнике. Преимуществом данного способа является то, что в нем оказываются взаимосвязаны проблема, вызывающая БНТ (насыщение сердечника трансформатора), и параметр, используемый для его идентификации (магнитная индукция сердечника).

УДК 621.316

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Натурные испытания по самозапуску электродвигателей на станциях очень опасны, потому как нельзя предусмотреть и предугадать всевозможные режимы и результаты, капиталозатратны и не могут охватить все реальные ситуации по условиям самозапуска электродвигателей. Кроме того, натурные испытания снижают надежность работы самих электрических станций. По этой причине на кафедре «Электрических станций» была разработана программа самозапуска электродвигателей станции.

Программа расчета самозапуска электродвигателей станции предназначена для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд ТЭЦ и КЭС. Программа состоит из нескольких частей: базы данных, расчета (непосредственно сама программа) и результатов расчета. Программа позволяет рассчитать исходный установившийся режим, режим короткого замыкания, групповой выбег электродвигателей в бестоковую паузу и групповой самозапуск электродвигателей после восстановления напряжения. Ручной счет таких сложных процессов занимает очень большой промежуток времени. Программа значительно уменьшает затраты умственного и физического труда. В программе очень хорошо отражены параметры элементов. Их многообразие позволяет быстро и качественно менять режимы работы станции. В программе сделаны некоторые учеты и допущения. Очень удобно выдаются результаты расчетов – с помощью масштабной сетки от функции времени. Программа может работать не только в DOS, но и в современных программных обеспечениях, таких как Windows XP, потому что разработана на базе алгоритмических языков Паскаль и Фортран.

Программа представляет собой комплекс, включающий в себя программу-диспетчер и отдельные программные блоки, позволяющие выполнять операции с базой данных, расчет самозапуска электродвигателей и отображение результатов расчета.

Результаты расчета самозапуска электродвигателей представляются в виде графиков изменения напряжения и тока секции (секций), скоростей вращения электродвигателей в процессе самозапуска. Исходные данные для каждого конкретного расчета формируются в виде таблиц, содержащих условия расчета и необходимые пояснения.

Горизонтальное меню содержит следующие возможные режимы работы компьютерной программы:

- инструкция;
- корректировка данных;
- расчет;
- условия расчета;
- выход.

В режиме «Инструкция» выполняется просмотр настоящей инструкции.

В режиме «Корректировка данных» выполняются операции с базой данных.

В режиме «Расчет» выполняется расчет самозапуска выбранной секции РУ СН.

В режиме «Условия расчета» производится просмотр на видеомониторе исходных данных последнего выполненного расчета самозапуска электродвигателей.

Режим «Выход» обеспечивает прекращение работы программы.

Программный комплекс построен таким образом, что позволяет создавать новую базу данных или редактировать существующую базу данных.

База данных, необходимых для выполнения расчетов самозапуска электродвигателей, содержит информацию об элементах схемы СН, каталог двигателей 6 кВ и каталог

механизмов СН. Вся исходная информация об элементах схемы СН в зависимости от их объема и вида выделена в следующие группы:

- секции 6 кВ;
- присоединения к секциям, под которыми понимаются электродвигатели 6 кВ и механизмы СН;
- основные и резервные ТСН, питающие секции 6 кВ;
- реакторы, питающие секции 6 кВ;
- сопротивления связей, под которыми понимается сопротивления токопроводов между секциями 6 кВ и основными и резервными источниками питания;
- сопротивления (мощности) КЗ на стороне высшего напряжения основных и резервных ТСН, которые характеризуют режим питающих систем.

В программе предусмотрены следующие операции с базой данных:

- добавление и удаление данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;
- корректировка (изменение) имеющихся исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов в каталогах электродвигателей и механизмов;
- просмотр на экране видеомонитора исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов;
- вставка данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;
- сортировка каталогов электродвигателей и механизмов.

Выполнение расчетов осуществляется при реализации режима «Расчет» горизонтального меню. В этом случае на экране видеомонитора появляется вертикальное меню с номерами секций РУ напряжением 6 кВ. Задание расчета самозапуска электродвигателей какой-либо секции выполняется путем выбора номера этой секции в вертикальном меню.

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени. В верхней части масштабной сетки в процессе расчета выдаются сообщения о рассчитываемом в настоящий момент виде режима (исходный режим, короткое замыкание, групповой выбег, самозапуск электродвигателей). По окончании расчета в верхней части масштабной сетки появляется сообщение, в котором показываются номера секций и дата выполнения расчета.

Проведенные расчеты позволяют в доступной и удобной форме отображать результаты расчета и документально фиксировать. Поэтому программа расчета самозапуска электродвигателей станции может быть использована как на стадии проектирования электрических станций, так и для оперативных расчетов персоналом на действующих электрических станциях.

УДК 621.313(075.8)

## ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Балухо А.Д., Серeda Ю.Д., Дударев А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

Генераторными выключателями обычно называются выключатели на номинальный ток 3150А и более и на напряжение 10 – 36 кВ. Они предназначены для оперативной и аварийной коммутации нагрузочных токов и токов короткого замыкания (КЗ) в трехфазных цепях переменного тока на генераторном напряжении. Проблема применения генераторных выключателей на электростанциях весьма сложна. На ранней стадии развития энергетики генераторы электростанций соединялись с повышающими и без выключателей. Вырабатываемая генераторами электроэнергия выдавалась через повышающий трансформатор в сеть 110 или 220 кВ. Такой принцип использовался примерно до второй половины 60-х годов. К концу 60-ых, началу 70-ых годов мощность турбогенераторов возросла до 500 МВт и более. Вырабатываемая этими генераторами энергия стала выдаваться в сети с напряжением 330 – 500 кВ. Для облегчения эксплуатационного разграничения функций производства (машинный агрегат) и передачи (подстанция) энергии, а также получения существенного технико-экономического эффекта появилась целесообразность применения генераторных выключателей. По этим же причинам при реконструкции электростанций, работавших ранее без них, предусматривается установка этих выключателей.

Одна из основных причин установки таких выключателей – улучшенная защита, которую он обеспечивает как для генератора, так и для повышающего трансформатора от повреждений токами короткого замыкания, токами разбаланса нагрузки и несогласования фаз.

Современный генераторный выключатель должен выполнять множество различных функций, к которым относятся: синхронизация генератора с основной энергетической системой; отделение генератора от энергетической системы; отключение токов нагрузки (с величиной, достигающей до уровня тока полной нагрузки генератора); отключение тока короткого замыкания, независимо от того, произошло оно на стороне энергосистемы или на стороне генератора; прерывание тока при выходе из синхронизма (при сдвигах по фазе до 180°).

К характеристикам генераторных выключателей, предназначенных для работы в эксплуатации, предъявляются более высокие требования, чем к силовым выключателям на средние классы напряжения.

Одним из основных параметров, определяющих выбор выключателя, является номинальный ток отключения. Как правило, при выборе выключателя принимается условие отключение максимального тока КЗ, протекающего через выключатель.

Однако, установка выключателя между генератором и повышающим трансформатором тем не менее оказывает влияние на тип и величину возникающих перенапряжений, инициированных выключателем в течение операций коммутации и в отключенном состоянии, например, из-за воздействия молнии, быстрого срабатывания разъединителя, токов намагничивания.

С помощью установки генераторных выключателей в цепях генераторов достигается существенное повышение надежности эксплуатации, так как при аварийных отключениях генератора обеспечивается непрерывность питания системы собственных нужд 6 – 10 кВ. Без генераторных выключателей любое отключение генератора, в том числе и по режимным условиям, должно сопровождаться переключением трансформатора собственных нужд с рабочего на резервный. Это существенно снижает надежность работы энергоблоков и электростанции в целом.



Кроме того при установке генераторных выключателей сокращается время протекания токов КЗ в трансформаторе и соответственно объемы повреждения.

В результате генераторные выключатели являются идеальным решением для того, чтобы повысить надежность и упростить работу электростанции.

УДК 621.313.322

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ 1200 МВТ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Ивченко А.С., Малиновский П.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

С учетом перспектив развития энергетики "Силовыми машинами" разработана и освоена в производстве серия мощных турбогенераторов с полным водяным охлаждением обмоток статора, ротора и активной стали сердечника статора типа ТЗВ (три воды), не имеющая мировых аналогов. Они обладают повышенной взрывобезопасностью и пожаробезопасностью, повышенной надежностью; высокой маневренностью и перегрузочной способностью вследствие низких уровней нагрева и вибрации, отсутствием масляных уплотнений вала, вентиляторов и встроенных в статор газоохладителей.

Основные особенности конструкции: наличие самонапорной системы охлаждения ротора, в которой отсутствуют гидравлические связи обмоток ротора с валом; наличие полной демпферной системы ротора; применение плоских силуминовых охладителей в виде сегментов с залитыми в них змеевиками из нержавеющей стальной трубки, устанавливаемых между пакетами для охлаждения активной стали сердечника статора. Высокая надежность обеспечена: мероприятиями, исключаящими кавитацию и эрозию стенок полых проводников обмоток статора и ротора; повышенной усталостной прочностью ротора; низким уровнем поперечных колебаний ротора и подшипников; креплением пазовой части обмотки статора с помощью встречных клиньев и упругих прокладок; специально разработанной конструкцией крепления лобовых частей обмотки статора; улучшенной спрессовкой сердечника статора ввиду отсутствия вентиляционных распорок между пакетами.

В турбогенераторе обмотки статора и ротора охлаждаются непосредственно водой, протекающей по каналам трубчатых медных проводников. Активная сталь сердечника статора охлаждается охладителями из силумина, запрессованными между пакетами. Сталь ротора и воздух, заполняющий генератор, охлаждаются в основном водоохлаждаемой демпферной обмоткой ротора. Контуры водяного охлаждения статора и ротора выполнены раздельными. Статорный контур выполнен герметичным, изолированным от атмосферы, с подушкой инертного газа (азота) над поверхностью дистиллята в подпиточном баке и сливных камерах. Контур включает в себя обмотку статора, сталь статора, экраны ребер и нажимных колец.

Роторная система – открытая, связанная через газ, заполняющий машину с системой осушки. Контур включает в себя обмотки возбуждения и демпферную. В каждом контуре предусмотрены насосы – рабочий и резервный, теплообменники, фильтры механические, магнитные, подпиточный бак (слив из стали – свободный, слив из обмотки – затопленный) и ионообменный фильтр для непрерывной очистки дистиллята. Для уменьшения коррозии медных проводников систем охлаждения предусматривается ввод в оба контура ингибиторов коррозии – соответственно для контуров статора и ротора.

В комплект поставки турбогенератора входят: статор обмотанный с рым-лапами; ротор в сборе; концевые части со щитами, уплотнениями, камерами сливными и напорными, крышками; трансформаторы тока и напряжения, устанавливаемые в коробках нулевых выводов; гибкие связи для соединения линейных выводов турбогенератора с токопроводами; подшипники в сборе; фундаментные плиты; бесщеточный возбудитель с шумозащитным кожухом; аппаратура системы возбуждения; система водяного охлаждения; система вентиляции; оборудование для технологического контроля состояния турбогенератора.

Такие турбогенераторы установлены на Костромской ГРЭС, Нововоронежской АЭС, Ленинградской АЭС и Ленинградской АЭС-2. Шестифазные генераторы 1200 будут ставиться на всех АЭС проекта «АЭС-2006».

## МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Хомич В.В., Сивый А.И., Бобрик Е.В., Ермола Д.С.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

Вопросы регулирования напряжения в распределительных сетях занимают сейчас важное место в комплексе вопросов технической эксплуатации энергосистем и сетей потребителей. Многочисленные исследования подтверждают, что поддержание напряжения на уровне номинального или в пределах допустимых отклонений его от номинального имеет большое значение. При некачественном чрезмерно высоком напряжении потребители и энергосистемы несут прямые убытки и порчи продукции, недоиспользовании мощностей, замедления технологического процесса, преждевременного износа изоляции и потерь энергии. Учет экономических факторов особенно важен в условиях экономического стимулирования труда и автоматизации технологических процессов.

Номинальным напряжением  $U_n$  источников и приемников электроэнергии (генераторов, трансформаторов) называется такое напряжение, на которое они рассчитаны в условиях нормальной работы. Каждая электрическая сеть характеризуется номинальным напряжением приемником электрической энергии, в том числе и трансформаторов, которые от нее питаются.

Качество электроэнергии характеризуется качеством частоты напряжения переменного тока и качеством напряжения. Для оценки качества частоты установлен один показатель – отклонение частоты, под которым понимают медленные плавные изменения частоты (менее одного процента в секунду) относительно ее номинального значения.

К одному из важнейших средств управления и регулирования, оказывающие влияние на режимы относятся устройства РПН трансформаторов.

Сущность регулирования напряжения с помощью трансформаторов заключается в том, что при необходимости изменения напряжения на вторичной стороне трансформатора изменяют его коэффициент трансформации. С этой целью на всех трансформаторах выполняют специальные ответвления, каждое из которых соответствует определенному числу витков обмотки и, следовательно, определенному коэффициенту трансформации.

Таким образом, каждому ответвлению трансформатора соответствует свое номинальное напряжение обмотки. Переводя переключатель ответвлений из одного положения в другое, т. е. изменяя  $n$ , можно изменять номинальное напряжение обмотки ВН, что приведет к регулированию напряжения  $U_n$  на шинах НН.

Так же часто используется метод регулирования напряжения изменением потоков реактивной мощности.

Сущность регулирования напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях

В отличие от активной мощности, реактивную мощность в узлах сети можно изменять путем установки в них устройств поперечной компенсации, т. е. компенсирующих устройств (КУ), подключенных параллельно нагрузке. В качестве таких компенсирующих реактивную мощность устройств могут служить батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы, шунтирующие и управляемые реакторы, статические тиристорные компенсаторы.

Зачастую регулирующие возможности трансформаторов, снабжённых дорогостоящим регулятором напряжения, не используются совсем или используются недостаточно. Для таких потребителей нет необходимости проектировать устройства регулирования напряжения, т. к. достаточно прибегнуть к средствам ступенчатого изменения напряжения:

а) отключение одного из двух параллельно работающих трансформаторов в режиме минимальной нагрузки. При этой операции происходит увеличение вдвое сопротивление звена трансформатора и напряжение на стороне нагрузки несколько снижается;

В общем, операцию по отключению параллельно работающих трансформаторов с целью ступенчатого изменения напряжения можно признать малоэффективной. Отключение мало загруженных трансформаторов в случае наличия нескольких параллельно работающих трансформаторов влечёт за собой некоторое снижение требований бесперебойности электроснабжения, т. к. в случае аварии с оставшимся трансформатором при отсутствии устройств для автоматического ввода резерва (АВР) неизбежен простой предприятия на время, необходимое для оперативных переключений. В сетях ВН, требующих известных мер безопасности, чрезмерное увеличение числа оперативных переключений также нежелательно;

б) отключение и включение параллельно работающих линий. Этот способ обладает тем же недостатком, что и операция с параллельно работающими трансформаторами, т. к. отсутствие устройств автоматического ввода резервной линии (АВР) ставит под угрозу бесперебойность электроснабжения. В некоторых случаях, когда потребитель имеет свою развитую сеть, можно произвести такое её оперативное переключение, при котором близко расположенные от питающей подстанции потребители (цеха) могут быть искусственно удалены созданием обходных цепей. Эту операцию можно рассматривать только как временную и крайнюю меру, т. к. обходные цепи вызывают дополнительную потерю энергии в сети, что экономически невыгодно;

в) выравнивание графика нагрузки предприятия. В ряде случаев величина напряжения на шинах данного потребителя зависит не только от режима работы системы, но и от режима работы данного предприятия и работы предприятий, питающихся от той же линии. Увеличить или уменьшить напряжение на шинах предприятия в некоторых случаях можно за счёт умело скоординированной нагрузки в течение суток. На ночную работу следует перевести большую часть энергоёмких потребителей или приёмников (насосные станции, компрессоры и др.). В том случае, когда от шин РТП системы питается несколько потребителей, можно по согласованию между технологами построить взаимно приемлемый график совместной работы предприятий, при котором напряжение в ночное время будет снижено, а в дневное время – повышено.

Силовые трансформаторы напряжением 6 кВ и выше и мощностью 25 кВ выпускаются в двух модификациях, со встроенным устройством РПН или ПБВ (переключатель без возбуждения). Переключатели ПБВ долгое время устанавливались на большинстве маломощных трансформаторов и поэтому чрезвычайно распространены. Переключатели этого типа позволяют изменением положения рукоятки устанавливать три или пять коэффициентов трансформации с диапазоном регулирования  $\pm 5\%$ . При изменении напряжения со стороны питания можно, используя переключатель ПБВ и устанавливая соответствующий коэффициент трансформации, сохранить напряжение на стороне нагрузки неизменным. Очевидно, что при повышении напряжения следует увеличивать коэффициент трансформации, и наоборот. Т. к. цели, преследуемые изменением коэффициента трансформации, могут быть различными, то правомерно поставить вопрос о выборе наиболее выгодного коэффициента трансформации. Операция по переключению коэффициента трансформации требует полного отключения трансформатора от сети и принятия специальных мер безопасности, поэтому не может производиться часто.

Наиболее выгодным называется коэффициентом трансформации, при котором обеспечиваются наименьшие отклонения напряжения у приёмников или наиболее полно удовлетворяются другие поставленные требования.

Для регулирования напряжения в производственных условиях существует много способов и средств, часть из которых доступна и эффективна в энергосистемах, а часть наиболее приемлема для распределительных сетей потребителей. Очевидно то, что поддержание качества напряжения может быть осуществлено только на основе согласованных действий и взаимной ответственности за качество электрической энергии как энергосистемы, так и самого потребителя.

УДК 621.311.2.002.5.004

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Ерохов Е.Л., Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Одним из способов сохранения непрерывности технологических процессов промышленных предприятий при внезапных кратковременных перерывах электроснабжения является самозапуск электродвигателей собственных нужд.

Под самозапуском понимают процесс автоматического (без вмешательства персонала) восстановления работы ЭД после кратковременного нарушения нормального электропитания – исчезновения или глубокого снижения напряжения.

Самозапуск может быть успешным или неуспешным. Самозапуск будет успешным, если начальное напряжение на шинах собственных нужд при самозапуске обеспечивает разворот ЭД за такое время, при котором не происходит недопустимого перегрева электродвигателей и не нарушается технологический процесс энергоблока.

Выполнение самозапуска требует комплексного решения вопросов, связанных с работой электродвигателя и его системы управления, электрической сети, а также самого приводимого механизма.

Самозапуск асинхронных и синхронных электродвигателей начал применяться на тепловых электростанциях и в настоящее время для всех основных механизмов собственных нужд электростанций различного типа. В настоящее время он получил широкое распространение во многих отраслях промышленности, особенно со сложными непрерывными технологическими процессами (производство аммиака, азотных удобрений, нефтеперерабатывающей промышленности и др.). Обоснованное применение самозапуска в сочетании со средствами автоматики всегда приводит к повышению надёжности электроснабжения и уменьшению простоев механизмов. В некоторых случаях, кроме того, выполняется снижение эксплуатационных расходов (за счёт уменьшения персонала, снижения потерь электроэнергии и др.) и капитальных затрат.

Проектные организации применяют программы расчета самозапуска, базирующиеся на методах СПО (свободное программное обеспечение) Ленинградского и Донецкого политехнических институтов.

ElectricaNW – программа для автоматизированного проектирования электроснабжения силового электрооборудования и внутреннего электроосвещения промышленных и гражданских объектов строительства, а также для анализа действующей электрической сети.

Gumotors – программа может быть использована при настройке устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, а также при проверке режимов работы электротехнического и технологического оборудования электростанций и промышленных предприятий при пусках и перерывах питания асинхронных электродвигателей напряжением 6 кВ.

Samos – Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ. При расчете самозапуска электродвигателей автоматически выполняются расчеты: исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега электродвигателей в бестоковую паузу и группового самозапуска электродвигателей после восстановления напряжения.

Как показал анализ исследований, в большинстве случаев программные продукты пользуются экономическим успехом в связи с внедрением на энергетические объекты. Но обладая большой стоимостью их использование энергетическими предприятиями затруднительно, не говоря о внедрении их в учебный процесс.

УДК 621.3

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Башаркевич Я.В., Васильева А.А., Плешко Д.Ю.

Энергосбережение (экономия электроэнергии) – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на рациональное использование и экономное расходование ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Энергосбережение – важная задача по сохранению природных ресурсов.

Энергоэффективность – эффективное использование энергетических ресурсов с модернизацией существующей техники и технологии и при соблюдении требований к охране окружающей среды.

Специфика повышения энергоэффективности в отдельных секторах экономики (организация управления и принятия решений, степень и возможности регулирования, структура и схожесть технических и институциональных решений) вызывает необходимость выделения следующих направлений:

- повышение энергоэффективности в электроэнергетике;
- повышение энергоэффективности в промышленности;
- повышение энергоэффективности в теплоснабжении и к\х;
- повышение энергоэффективности в жилищном секторе;
- повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве;
- повышение энергоэффективности на транспорте;
- нормативно-законодательное, ресурсное, организационное и информационное

обеспечение деятельности по повышению энергоэффективности.

Основные шесть обширных сфер:

- сценарии и стратегии использования альтернативных источников энергии;
- энергоэффективность зданий, бытовых электроприборов, транспортных средств и промышленных объектов;
- более экологически чистые технологии использования ископаемых топлив;
- возобновляемые источники энергии;
- усиление международного сотрудничества.

Политическая поддержка энергоэффективности имеет под собой солидную основу по двум веским причинам.

Во-первых, повышение эффективности энергопотребления является самой рентабельной стратегией, дающей немедленный результат. В контексте изменения климата внедрение энергоэффективных технологий дает правительствам возможность выиграть время для подготовки экономик своих стран к будущему с низкими выбросами углерода.

Во-вторых, политические меры по повышению энергоэффективности уже доказали возможность обеспечить значительную экономию энергии. Цель, к которой следует стремиться, – не просто иметь закон «Об энергоэффективности», а, прежде всего, добиться того, чтобы это законодательство создало среду и инструменты для решений, касающихся эффективного конечного потребления, которые должны быть приняты во всех секторах экономики.

Во всем мире профилирующей сейчас является тема так называемого зелёного роста, то есть роста экономик за счёт использования современных, экологически выверенных, энергоэффективных технологий, в том числе с использованием альтернативных источников энергии. Эта тема абсолютно актуальна для нас, у нас тоже есть свои нормативы, свои цели по энергоэффективности, дл этого необходимо взаимодействие экологического законодательств с вопросом энергоэффективности. Сделать это надо так, чтобы у наших предприятий появилась экономическая мотивация, появились побудительные стимулы к

тому, чтобы вкладываться в общее оздоровление экологической ситуации, с одной стороны, а с другой стороны – подтягивать уровень своих производств и очистные сооружения, технологические стандарты ведения собственного бизнеса под лучшие мировые образцы.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность различных видов топлива и энергии (продукция нефтеперерабатывающей, газовой, угольной, торфяной промышленности, электроэнергия атомных и гидроэлектростанций, а также местные виды топлива), которыми располагает страна для обеспечения производственных, бытовых и экспортных потребностей.

Энергетика вносит значительный вклад в формирование основных социальных и экономических параметров развития страны, в частности доходов и бюджета. Государственный бюджет, инвестиции, внешняя торговля испытывают сильную зависимость от конъюнктуры на мировых рынках энергоносителей.

Условное топливо – принятая при технико-экономических расчетах единица, служащая для сопоставления тепловой ценности различных видов органического топлива. Теплота сгорания 1 кг твердого условного топлива (или 1 м<sup>3</sup> газообразного) составляет 29,3 МДж.

Из потребляемой в быту энергии – 70 % – идет на отопление помещений, 15 % энергии расходуется на приготовление пищи, 10 % энергии потребляет бытовая техника и 5 % энергии расходуется на освещение.

С экономической точки зрения-меры по повышению энергоэффективности сосредоточены в трех секторах:

- недвижимое и строительство;
- топливо-энергетический комплекс;
- промышленность и транспорт.

Экономически привлекательны меры с низкими первоначальными инвестициями и относительно быстрой окупаемостью является применение энергосберегающих ламп. Однако это позволяет реализовать только 2 % общего потенциала энергосбережения.

Другая важная мера – установка термостатов и счетчиков тепла. Исследования показали, что наличие термостатов, регулирующих потребление тепла, и установка теплосчетчиков в жилых домах, в результате чего жильцы будут оплачивать только фактически потребляемый объем тепла, позволят сократить сумму счета за отопление на 20 %. Базовые меры по утеплению (например герметизация плинтусов и других областей утечки воздуха, уплотнение окон и дверей ленточным утеплителем, теплоизоляция чердачных помещений и пустот в стенах) позволят сократить потребление тепла еще на 20 %.

Барьеры, сдерживающие развитие энергосбережения и энергоэффективности в стране, можно разделить на четыре основные группы:

1. Недостаток информации.
2. Необходимость значительных объемов начальных инвестиций.
3. Отсутствие стимулов.
4. Слабая организация и координация действий.

Прежде был еще пятый барьер – недостаток технологий. Но на сегодня такого ограничения больше не существует. Рынок предлагает широкий выбор энергоэффективного оборудования, материалов, а также консультационных услуг по вопросам энергосбережения и энергоэффективности.

Недостаток информации. Информационное и мотивационное обеспечение подготовки и реализации решений по энергосбережению и энергоэффективности развито слабо. Стереотипы поведения («делай, как все»), то есть практически не делай ничего для экономии энергии, так широко распространены именно потому, что они избавляют как от поиска информации, так и от принятия самостоятельных решений.

Недостаток опыта финансирования проектов в сфере энергоэффективности со стороны инвестиционных банков. Требования к выделению финансовых средств на реализацию проектов по повышению энергоэффективности и снижению издержек, как правило,

существенно более жесткие, чем к проектам, связанным с новым строительством. Больше всего это касается тех предприятий, которые находятся в тяжелом финансовом положении и в силу этого не располагают собственными средствами для решения проблем энергосбережения и энергоэффективности. Для них непреодолим тест на финансовую устойчивость и, следовательно, невозможно получение кредитных ресурсов на развитие.

Недостаток организации и координации имеет место на всех уровнях принятия решений. Проблема повышения энергетической эффективности не воспринимается как средство решения широкого комплекса экономических и экологических проблем. Реализация ключевого приоритета «Энергетической стратегии России до 2020 года» – увеличения энергоэффективности экономики не обеспечена в полной мере организационными и финансовыми ресурсами. Наблюдается отсутствие согласованности различных областей законодательства: градостроительное планирование не связано с развитием энергосистем; законодательство о госзакупках не содержит требований по энергоэффективности и т. д.

Важно организовать четкое взаимодействие с бизнес сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, региональном и муниципальном уровнях/



УДК 621.316

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Баран А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Известно, что процессу самозапуска группы электродвигателей (ЭД) собственных нужд (СН) предшествует либо исчезновение, либо глубокое понижение напряжения на зажимах ЭД в течение времени перерыва питания. При этом уменьшается частота вращения ЭД.

Самозапуск агрегата (ЭД плюс механизм) СН до достижения нормальной частоты вращения при данной нагрузке агрегата происходит при повторной подаче достаточного напряжения на зажимы ЭД.

Характер процесса самозапуска в значительной мере зависит от того, участвует в нем один или группа ЭД, от состава ЭД, механизмов и их характеристик, от значения сопротивления внешней сети между ЭД и источником питания, от значения напряжения источника питания, от времени перерыва питания.

Самозапуск одиночного ЭД зависит от загрузки механизма в установившемся режиме, предшествующем выбегу, от характера момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма, от времени перерыва питания, от значения напряжения на шинах СН.

После отключения от сети одиночного ЭД накопленная в нем кинетическая и электромагнитная энергия расходуется постепенно, благодаря чему после отключения ЭД напряжение резко падает до значения  $E_{\text{об}}$  и далее уменьшается пропорционально снижению магнитного потока по закону экспоненты и частоте вращения вала, а частота напряжения изменяется пропорционально частоте вращения ротора.

При отключении группы ЭД изменение частоты вращения каждого ЭД будет отличаться от изменения частоты вращения одиночного ЭД. Будучи электрически связанными между собой, ЭД воздействуют друг на друга таким образом, что те из них, которые имеют больший запас кинетической энергии, переходят в генераторный режим, поддерживая частоту вращения ЭД с меньшим запасом кинетической энергии. В результате частота вращения ЭД, перешедших в генераторный режим, снижается несколько быстрее, а частота вращения ЭД, оставшихся в режиме потребления активной мощности, напротив, снижается несколько медленнее частоты вращения тех же ЭД, выбегающих индивидуально при одиночном отключении.

Таким образом, в течение некоторого времени вследствие наличия на шинах секций СН остаточного напряжения все ЭД имеют тенденцию выбегать «синхронно» с частотой вращения, близкой к эквивалентной. Группа электрически связанных ЭД может быть при этом рассмотрена как один эквивалентный ЭД с эквивалентной механической постоянной времени.

В зависимости от соотношения моментов сопротивления механизмов и моментов вращения ЭД окончание «синхронного» выбега будет осуществляться при различных значениях остаточного напряжения. В первом приближении можно принять, что окончание «синхронного» выбега происходит при снижении остаточного напряжения, на шинах СН примерно до 0,25 номинального [1, 2].

Постоянная времени затухания остаточного напряжения на шинах СН при групповом выбеге электрически связанных ЭД составляет от 0,6 до 1,5 с, а изменение угла между вектором остаточного напряжения на отключенной секции СН и вектором напряжения сети до  $180^\circ$  происходит за 0,3 – 0,5 с. Абсолютное значение остаточного напряжения на отключенной секции при данной длительности перерыва питания составляет 0,5 – 0,7 номинального, а геометрическая разность  $\Delta U$  вектора остаточного напряжения секции СН и напряжения сети может достигать 1,7 – 2,0 номинального. Следует отметить, что при включении группы ЭД на резервный источник питания в момент противофазы (при угле

180°) возникают большие переходные токи, которые протекают по обмоткам двигателей, это необходимо учесть при настройке токовых защит, которые не должны приводить к ложному отключению ЭД и трансформаторов питания.

При возникновении причин, вызвавших посадку напряжения на шинах СН, работают устройства РЗА, которые отключают поврежденный участок, и если повреждение находится в источнике рабочего питания, работает устройство АВР, и на шины СН повторно подается напряжение от резервного источника питания. Длительность перерыва питания определяется: временем действия основных или резервных электрических защит, которые устраняют повреждение, приведшее к перерыву питания; временем отключения выключателя рабочего ввода (отключение от рабочего источника питания); временем включения выключателя резервного ввода (резервного источника питания), т. е. временем действия АВР.

В настоящее время стремятся максимально уменьшить длительность перерыва питания для того, чтобы при понижении или полном исчезновении напряжения на шинах СН уменьшение частоты вращения ЭД было как можно меньше.

Согласно ПТЭ [3] время перерыва питания, определяемое выдержками времени технологических и резервных электрических защит, не должно превышать 2,5 с.

В порядке исключения допускается большее время перерыва питания, если обеспечивается самозапуск электродвигателей, который должен быть подтвержден расчетно-экспериментальным путем.

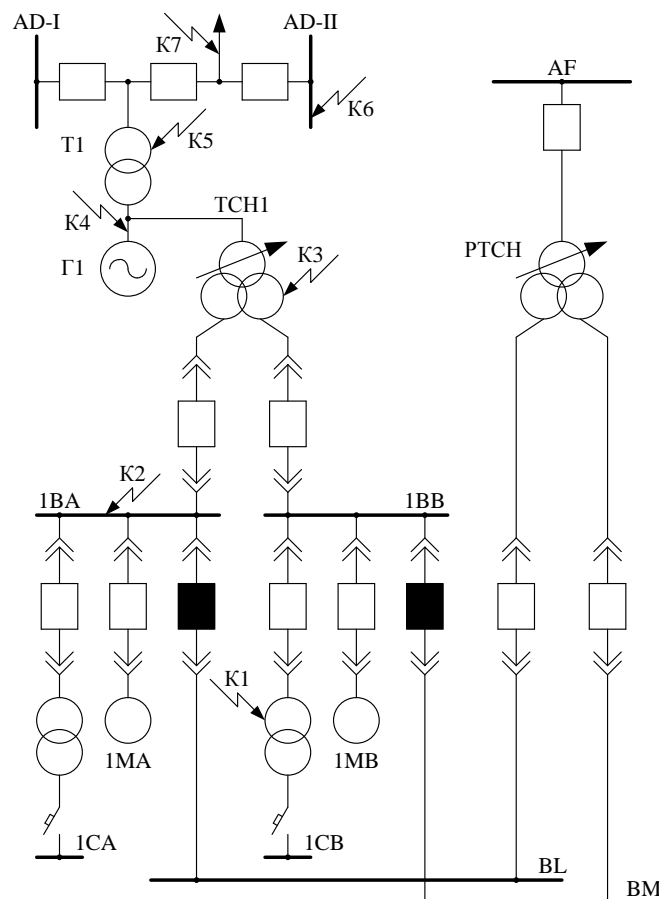


Рисунок 1. Расчетная схема энергоблока: BL, BM – шины резервного питания 6 кВ; 1BA, 1BB – шины рабочего питания 6 кВ; 1CA, 1CB – шины рабочего питания 0,4 кВ; 1MA, 1MB – электродвигатели 6 кВ; AD-I, AD-II, AF – шины распределительно устройства высокого напряжения; K1–K7 – точки КЗ

В зависимости от места возникновения КЗ в электрической схеме ТЭС группа ЭД СН будет реагировать по-разному. Так, при КЗ (рис. 1) на выводах обмотки высокого напряжения трансформатора 6/0,4 кВ (точка К1), на шинах секций СН (точка К2) напряжение на выводах ЭД уменьшается до нуля. При КЗ в цепи рабочего питания (точки К3, К4) напряжение на шинах СН, генерируемое группой ЭД, незначительно отличается от нуля в первый момент КЗ и с течением времени уменьшается до нуля. При выше рассмотренных случаях КЗ уменьшается до нуля и момент вращения ЭД. Происходит торможение (уменьшение частоты вращения вала) ротора ЭД только под действием противодействующего момента сопротивления его механизма.

При КЗ за блочным трансформатором (точка К5), на шинах ОРУ высокого напряжения (точка К6), на воздушных линиях электропередачи (точка К7) напряжение на шинах секции СН уменьшается до значений 0,3 номинального и выше. В этом случае торможение ротора ЭД происходит под действием избыточного момента вращения, равного разности момента вращения ЭД, уменьшенного пропорционально квадрату напряжения, и момента сопротивления механизма.

При восстановлении электропитания на шинах СН в начальный момент напряжение понижается до какого-то значения, которое в дальнейшем будет называться начальным напряжением  $U_{нач}$ . Разворот ЭД до установившейся частоты вращения происходит под действием избыточного момента, который представляет собой разность между моментом вращения ЭД при данном напряжении и моментом сопротивления механизма. Разворот будет успешным, если момент вращения ЭД в течение всего процесса самозапуска будет больше момента сопротивления механизма.

По мере ускорения группы ЭД в процессе самозапуска напряжение изменяет свое значение, и это напряжение  $U_{сз}$  – напряжением самозапуска.

В связи с тем, что самозапуск ЭД секции СН происходит при пониженном напряжении, он может быть успешным или неуспешным. Успешным является лишь такой самозапуск, при котором ЭД достигают нормальной частоты вращения за время, допустимое по условиям сохранения устойчивости технологического режима электростанции блочного типа, а для электростанции с поперечными связями по воде и пару с ГРУ дополнительно по условию допустимого нагрева ЭД.

В процессе расчета самозапуска выполняются расчеты следующих режимов:

- исходный режим рабочей секции СН и рабочего источника питания;
- режим трехфазного КЗ на шинах рабочей секции СН;
- режим группового выбега двигателей СН;
- режим индивидуального выбега двигателей СН.

**Исходный режим** рабочей секции СН – это установившийся режим, характеризующийся неизменными скольжениями, моментами, действующими значениями токов фаз электродвигателей, синусоидальной формой кривых напряжений, токов статорных контуров двигателей, стационарной нагрузки, источника питания. В расчетах исходного режима по заданным значениям напряжения секции и коэффициентов загрузки электродвигателей определяются их скольжения, мгновенные значения всех токов, начальные значения потокосцеплений контуров двигателей и источника питания.

**Режим КЗ** характеризуется быстрым торможением электродвигателей, вызванным снижением до нулевого значения напряжения на шинах (рассматривается трехфазное КЗ). В процессе расчета определяются мгновенные значения всех токов, скольжения двигателей.

**В режимах выбега** продолжается интенсивное торможение электродвигателей. В процессе расчета определяются скольжения электродвигателей, а в режиме группового выбега при небольшой длительности бестоковой паузы – начальные значения некоторых интегрируемых переменных для последующего расчета самозапуска.

#### Литература

1 Руководящие указания по расчету самозапуска двигателей собственных нужд тепловых электростанций. – М.: ВНИИЭ, 1967.

2 Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. МУ 34-70-026-82. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.

3 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – 14-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБИН ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Кривко С. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА И МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Дерюга В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 330 КВ**

Карук Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А.Л.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА И МЕСТА ВКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ**

Баранова Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ДЕЛЕНИЯ СТАНЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ**

Игнатчик В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ**

Савицкий Н.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Губаревич Т.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ**

Третьяк И.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ**

Степура А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Семашко В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА РЕЗЕРВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ  
СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ**

Скок А.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ  
СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ**

Якушева Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ СЕТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СГ СТАНЦИИ**

Суськова В.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

**ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ  
ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВТОРОЙ КАТЕГОРИИ**

Баранова Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А.Л.

**КОММЕРЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭЛКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ**

Супруненко А.М., Попкова Н.А.

Научный руководитель – ассистент Секацкий Д.А.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБИН ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Кривко С. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Проблема обеспечения устойчивости энергосистем существует из-за возникающего в аварийных режимах небаланса мощности на валу синхронных машин, приводящему к недопустимому их ускорению или торможению, следствием которых является потеря синхронизма. Если бы механическая мощность агрегатов могла достаточно быстро и точно изменяться в соответствии с изменениями электрической мощности, то небалансы мощности были бы устранены и, следовательно, нарушения устойчивости в энергосистемах были бы исключены. Однако существующие системы регулирования паровых турбин пока не могут решить такую задачу. Более того, системы регулирования, обычно применяемые в нормальном режиме, из-за наличия инерции, органов с зонами нечувствительности практически не реагируют в начале переходного процесса и мощности турбины почти не изменяются. Для обеспечения динамической устойчивости требуется быстрое изменение мощности турбины при возникновении возмущения в энергосистеме. Поэтому для быстрого управления мощностью турбины в аварийных режимах она оснащается специальным электрогидравлическим преобразователем (ЭГП), который позволяет вводить в систему регулирования электрические сигналы (импульсы) и тем самым осуществить быстродействующее управление регулирующими клапанами турбины. При этом происходит относительно быстрое уменьшение механической мощности на валу агрегата, необходимое для обеспечения устойчивости в случае сброса электрической нагрузки генератором. Различные аварийные ситуации требуют различной глубины разгрузки, но по возможности наибольшей скорости ее осуществления. Скорость разгрузки турбины не может быть сколь угодно большой и ограничивается в основном быстродействием регулирующих клапанов и наличием парового объема между ними и турбиной. Поэтому мощность турбины снижается постепенно и ее изменение зависит от амплитуды и длительности управляющего сигнала от ЭГП. Изменяя его, можно получить различные изменения механической мощности во времени, которые называют импульсными характеристиками турбин. После снятия управляющего сигнала регулирующие клапаны открываются и мощности агрегата восстанавливаются до заданного значения, определяемого, как правило, условием статической устойчивости.

Влияние аварийной разгрузки турбины (АРТ) на устойчивость системы при возникновении короткого замыкания. Для этого на диаграмме характеристик мощности (рисунок 1) нанесем изменения механической мощности турбины  $P_T$  в функции угла  $\delta$ .

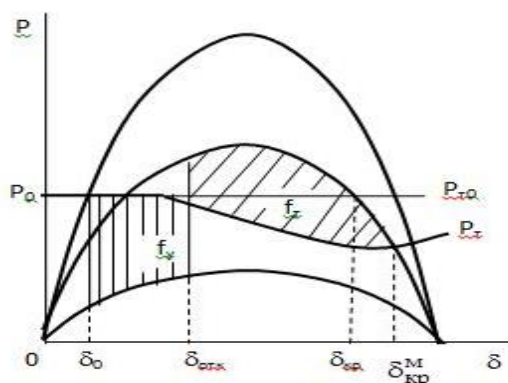


Рисунок 1 – Влияние аварийной разгрузки турбин на динамическую устойчивость

Из приведенных зависимостей видно, что существенное уменьшение  $P_T$  наступает после времени отключения короткого замыкания, длительность которых для современных систем электроснабжения составляет 0,1 - 0,2 с. Поэтому АРТ практически не уменьшает площадку ускорения и это было одним из препятствия его применения. Однако в конце переходного процесса  $P_T$  начинает уменьшаться, что приводит к увеличению площадки торможения и увеличению критического угла с  $\delta_{кр}$  до  $\delta_{кр}^M$ , определяющего предел синхронной динамической устойчивости генератора.

Проверим это в программе mustang при применении различных характеристик ЭГП для схемы из курсового проекта.

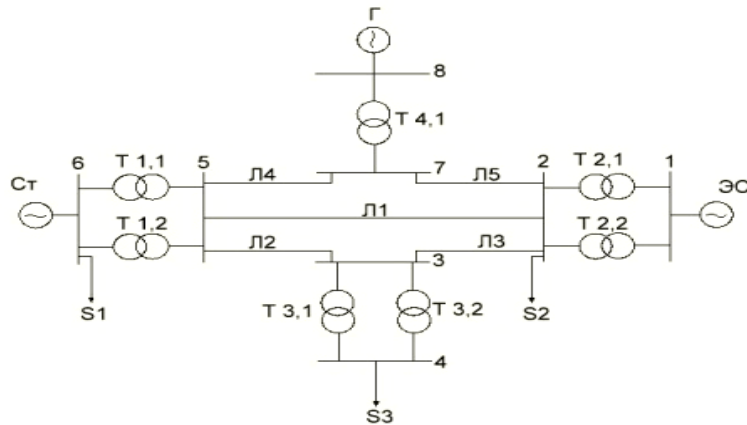


Рисунок 2 – Исходная схема сети

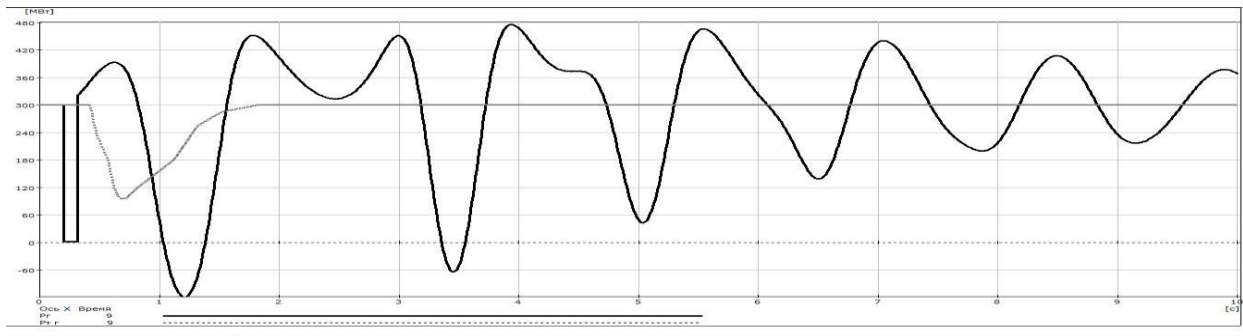


Рисунок 3 -- Зависимость мощности турбины станции от времени  $t$  при восстановлении мощности турбины до исходного значения

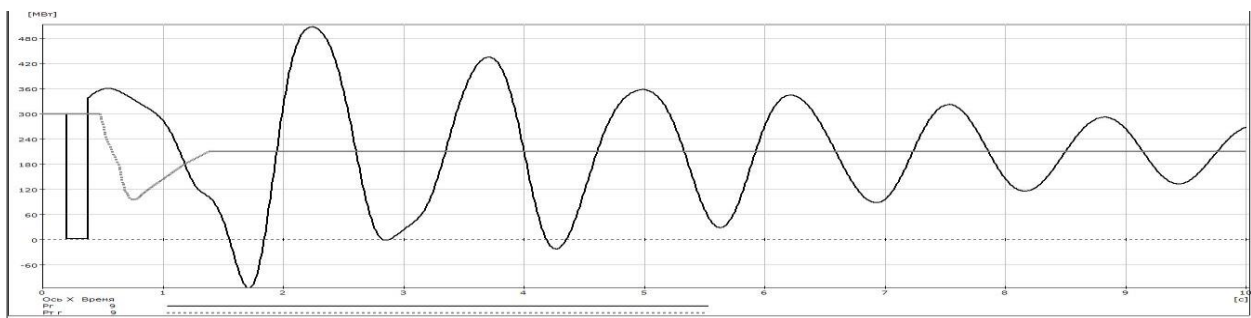


Рисунок 4 – Зависимость мощности турбины станции от времени  $t$  при восстановлении мощности турбины до 0,7 от начального значения



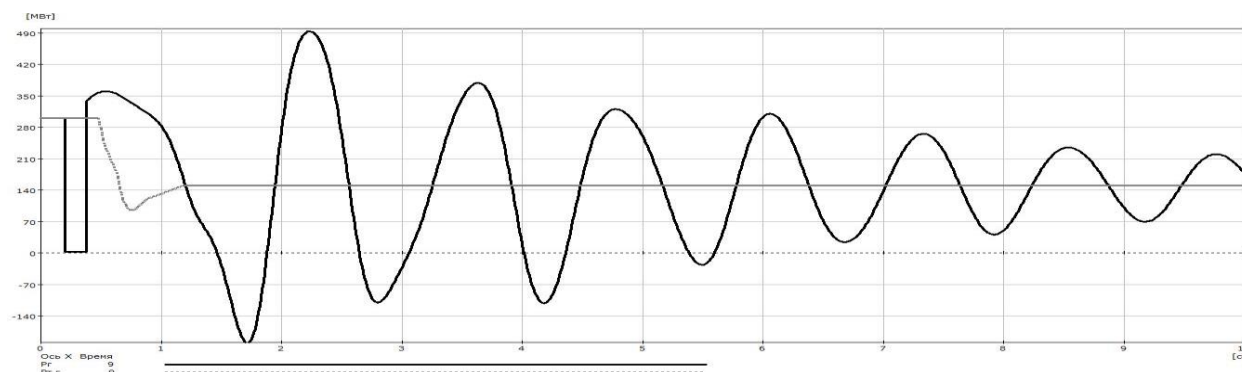


Рисунок 5 – Зависимость мощности турбины станции от времени  $t$  при восстановлении мощности турбины до 0,5 от начального значения.

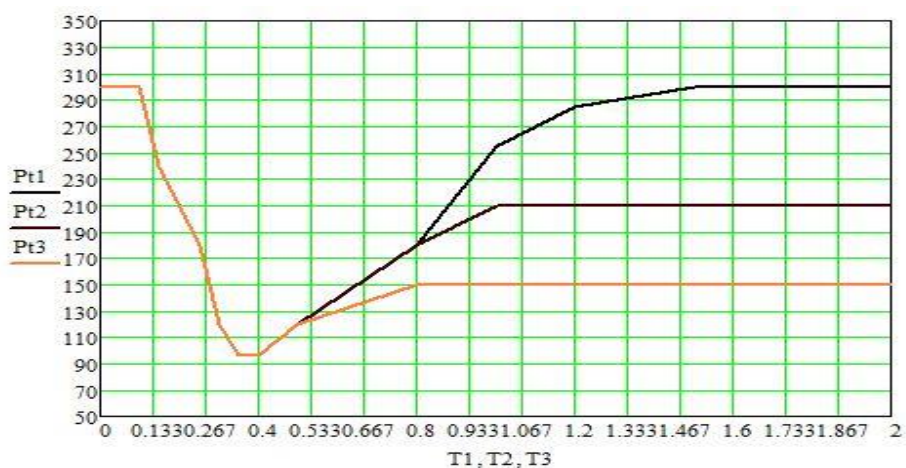


Рисунок 6 – Совмещенная зависимость мощности турбины станции от времени  $t$

Из расчетов проведенных в программе mustang видно, что при использовании импульсной разгрузки осуществляемой с помощью ЭГП предельное время отключения короткого замыкания заметно уменьшается, а также уменьшается амплитудное значения мощности генерации в начальный момент короткого замыкания вслед за изменением мощности турбины. Так, когда значение мощности турбины восстанавливается ЭГП до исходного значения предельное время отключения меньше чем в остальных случаях, а именно 0,12 секунды. При остальных случаях получилось 0,18 секунды. Применение автоматической разгрузки турбины позволяет повысить динамическую устойчивость и снизить время установления послеаварийного режима работы станции. Недостатком является задержка в ограничении механической мощности, что в ряде случаев снижает эффективность разгрузки, кроме того возможно нарушение устойчивости во втором и последующих циклах качаний из-за высокой скорости восстановления мощности турбины.

#### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА И МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Дерюга В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филиппчик Ю.Д.

Поставлена задача исследовать влияние вида и места КЗ на динамическую устойчивость генераторов электростанций. Рассчитывать будем схему (рисунок 1), исследуемую в курсовой работе, и данные, рассчитанные в ходе курсовой работы. В качестве методики оценки вида и места КЗ на предельное время отключения примем следующее: моделируем возмущение на шинах высокого напряжения в виде короткого замыкания (КЗ) (поочередно в узлах 2, 3, 5, 7). Таким образом учитывается место КЗ. В каждом узле изменяем сопротивление шунта  $X_{ш}$ . Таким образом будем учитывать вид КЗ. Для каждого узла и величины сопротивления шунта находим время предельного отключения т.е. максимальное время при котором устойчивость сохраняется. Строим зависимость предельного времени отключения от величины сопротивления шунта. Переносим КЗ в следующий из выделенных узлов и повторяет расчеты.

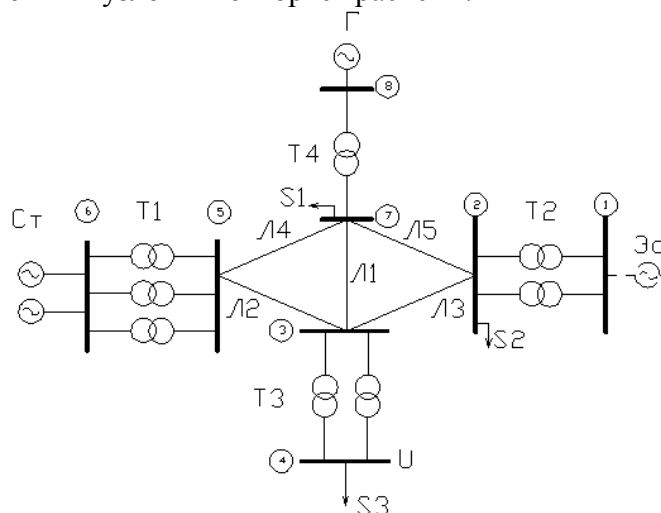


Рисунок 1. Схема исследуемой сети

При моделировании КЗ на шинах высокого напряжения в схему замещения добавляется сопротивление аварийного шунта  $X_{ш}$ , которое влияет на общее сопротивление схемы. Величина  $X_{ш}$  в значительной степени зависит от вида КЗ (таблица 1).

Таблица 1-Зависимость сопротивления шунта от вида КЗ

Вид КЗ	Сопротивление шунта
Однофазное	$X_{ш} = X_0 + X_2$
Двухфазное	$X_{ш} = X_2$
Двухфазное на землю	$X_{ш} = \frac{X_0 \cdot X_2}{X_0 + X_2}$
Трёхфазное	$X_{ш} = 0$

Где  $X_0$  и  $X_2$  - сопротивления нулевой и обратной последовательности соответственно. Величина  $X_{ш}$  влияет на результирующее сопротивление системы в аварийном режиме  $X_{ав}$ ,

которое в свою очередь влияет на активную мощность в аварийном режиме. Амплитудная величина активной мощности влияет на предельный угол отключения КЗ  $\delta_{отк}^{np}$ .

В конечном итоге предельный угол отключения влияет на предельное время отключения КЗ:

$$t_{отк}^{np} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j (\delta_{отк}^{np} - \delta_0)}{P_0}}$$

Исходя из приведенных зависимостей можно сделать вывод: при увеличении сопротивления шунта результирующее сопротивление системы снижается, что в свою очередь вызывает увеличение амплитудной величины активной мощности. Это вызывает уменьшение  $\cos \delta_{отк}^{np}$  и соответственно рост  $\delta_{отк}^{np}$ , а увеличение предельного угла отключения увеличивает предельное время отключения КЗ.

### Заключение

В результате проделанной работы была исследована зависимость предельного времени отключения от сопротивления аварийного шунта в различных точках сети (рисунок 2, 3, 4, 5).

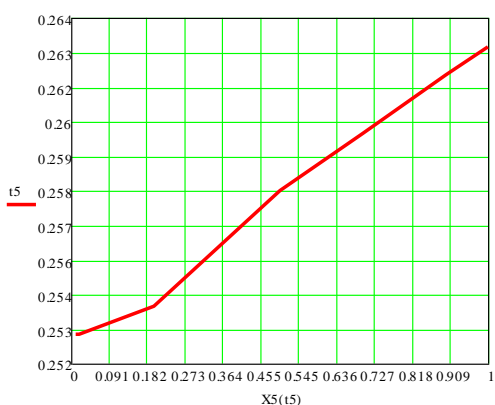


Рисунок 2. КЗ в узле 5



Рисунок 3. КЗ в узле 3

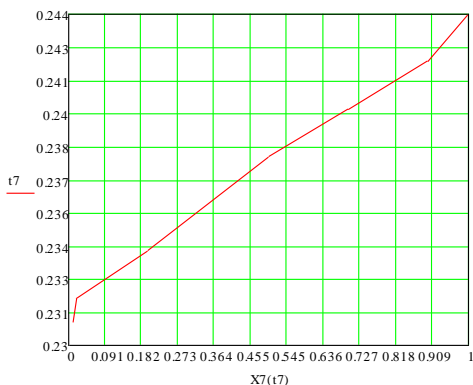


Рисунок 4. КЗ в узле 7



Рисунок 5. КЗ в узле 2

В исследуемом диапазоне изменения сопротивления шунта (от 0,01 до 1) при КЗ в узле 2 предельное время отключения возросло на 10%, в узле 3 – на 4%, в узле 5 – на 4%, в узле 7 – на 6%. Увеличение сопротивления шунта увеличивает предельное время отключения, что в свою очередь повышает устойчивость исследуемой ЭЭС.

### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 330 КВ

Карук Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А.Л.

Произведем расчет и сравнение надежности двух схем подстанций: схемы два выключателя на присоединение и полуторной схемы. Схемы подстанций приведены на рисунке 1, показатели надежности элементов в таблице 1.

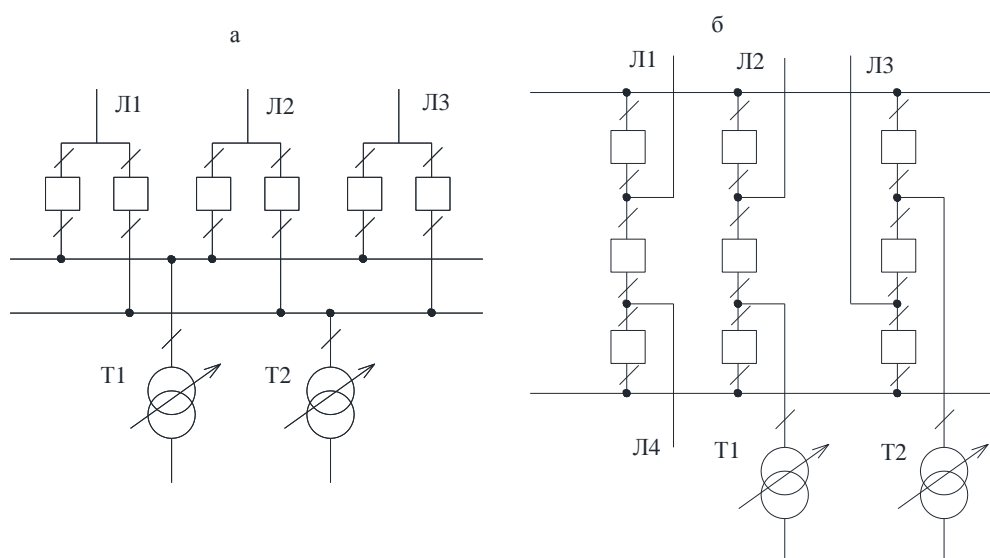


Рисунок 1. Схема подстанции: а – трансформаторы – шины с присоединением линий через два выключателя; б – полуторная схема

Таблица 1. Показатели надежности элементов

Элемент РУ 330 кВ (на одно присоединение)	Частота отказа $\lambda$ , 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_v$ , ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$ , 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$ , ч
Трансформатор	0,020	200,0	0,170	350
Элегазовый выключатель	0,015	36,8	0,080	200
Сборные шины	0,013	5,0	0,166	3
Линия электропередачи на 1 км	0,0025	13,6	0,350	20

Вычисление логических показателей надежности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций)  $C(k)$ , приводящих к отказу ее функционирования  $k$ -го вида.

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_k L(i, j, s, k) \tag{1}$$

где  $L(i, j, s, k)$  – логическая функция, принимающая значения 0 или 1.

Вычисление частот отказов функционирования  $k$ -го вида  $\lambda(k)$  и длительностей аварийного восстановления  $T(k)$  в общем случае осуществляется по выражениям:

$$\lambda(k) = \sum_j \sum_i q(j) \cdot \lambda(i) \cdot Q(s/i) \cdot L(k), \quad (2)$$

$$T(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \sum_j \sum_i q(j) \cdot \lambda(i) \min\left\{\frac{t(j)}{2}; t(i); t_{o.n.}\right\} \cdot Q(s/i) \cdot L(k), \quad (3)$$

где  $q(j)$  – относительная длительность  $j$ -го ремонтного режима, о.е.;  $\lambda(i)$  – частота повреждения  $i$ -го элемента схемы, 1/год;  $t(i)$  – длительность послеаварийного восстановления  $i$ -го элемента схемы, ч;  $t(j)$  – длительность  $j$ -го ремонтного режима работы схемы;  $t_{o.n.}$  – время оперативных переключений, ч;  $Q(s/i)$  – вероятность отказа в срабатывании релейной защиты или коммутационного аппарата.

Таблица 2. Показатели надежности типовых схем подстанций

Вид аварии	Два выключателя на присоединение			Полуторная схема		
	$\lambda_{\Sigma}$ , 1/год	$T_{в\Sigma}$ , ч	$K_n$ , о.е.	$\lambda_{\Sigma}$ , 1/год	$T_{в\Sigma}$ , ч	$K_n$ , о.е.
Потеря одной линии	0,250	14,11	$402,68 \cdot 10^{-6}$	0,265	13,34	$403,55 \cdot 10^{-6}$
Потеря одного трансформатора и одной линии	0,0156	0,57	$1,015 \cdot 10^{-6}$	$0,117 \cdot 10^{-3}$	0,50	$6,68 \cdot 10^{-9}$
Потеря двух трансформаторов и всех линий	$0,925 \cdot 10^{-3}$	0,50	$0,053 \cdot 10^{-6}$	$0,139 \cdot 10^{-5}$	0,50	$0,08 \cdot 10^{-9}$

### Выводы

По результатам, приведенным в таблице 2 видно, что коэффициент неготовности при потере одной линии в обеих схемах подстанций отличается незначительно, но частота возникновения более серьезных аварий в 600 раз выше при схеме подстанции два выключателя на присоединение. Коэффициент неготовности этой схемы также более чем в 600 раз выше чем при полуторной схеме. Следовательно, можно сделать вывод о том, что полуторная схема является более надежной.

### Литература

1. Казанцев В.Н. Анализ способов повышения надежности работы электрических сетей энергосистем. Автореф.дисс.на соискание учен, степени канд.техн.наук (275). Свердловск: 1971. - 27 с.
2. Козлов Б.А., Ушаков И, А. Справочник по расчету надежности. М.: Советское радио, 1975. - 471 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА И МЕСТА ВКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ

Баранова Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

В сети три нагрузочных узла, которые подвергнем исследованию. Исходная нагрузка в них:

- 1)  $S_1 = 306 + j \cdot 170 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_1| = 350 \text{ МВ} \cdot \text{А}$
- 2)  $S_2 = 250 + j \cdot 130 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_2| = 282 \text{ МВ} \cdot \text{А}$
- 3)  $S_3 = 270 + j \cdot 152 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_3| = 310 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

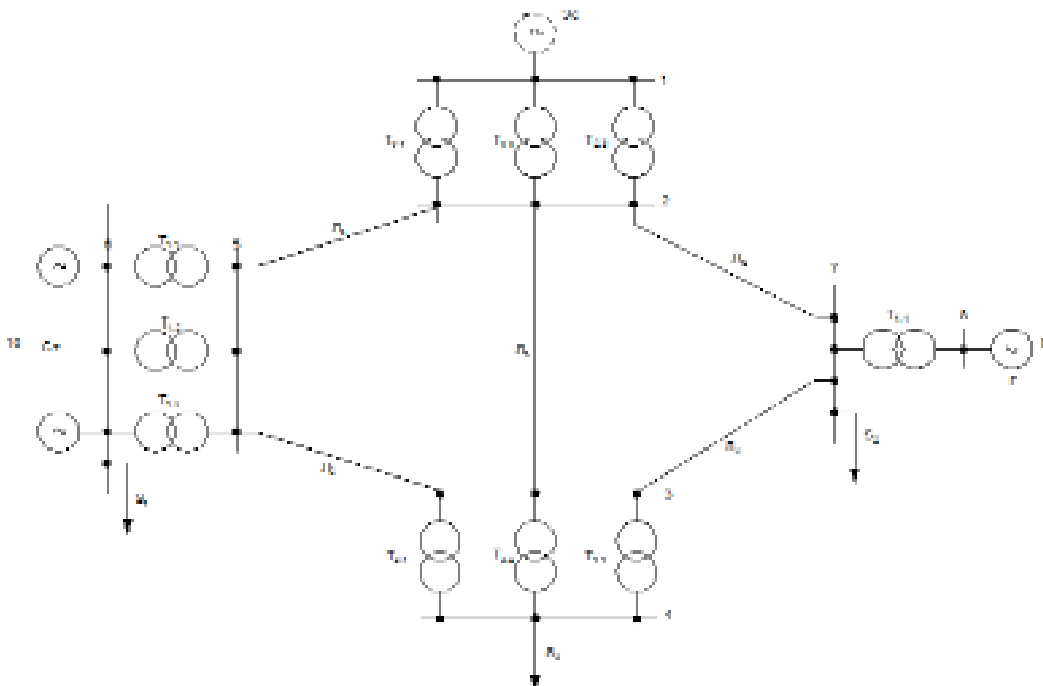


Рисунок 1 Схема исследуемой сети

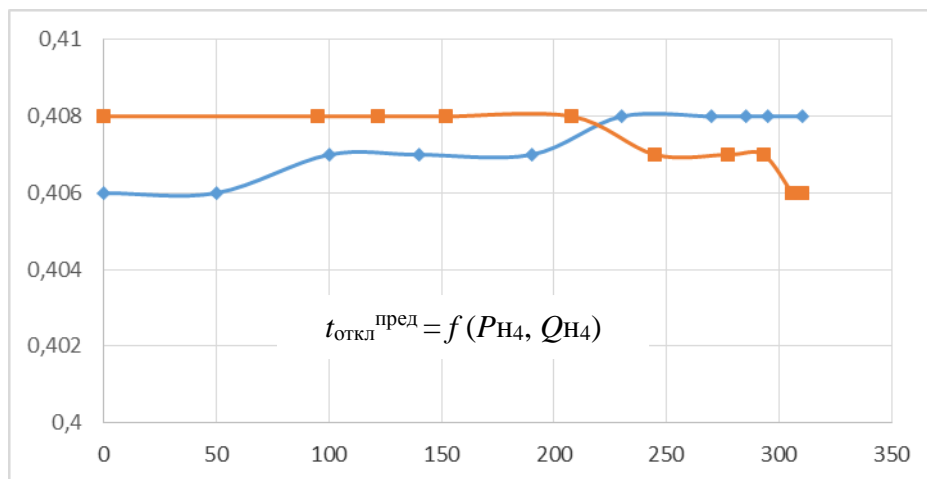


Рисунок 2 Предельное время отключения при  $S_1 = 306 + j \cdot 170 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_1| = 350 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Расчет будем вести для системы с АРВ ПД на генераторах. Будем изменять поочередно каждую из трех нагрузок, исследуя зависимость устойчивости от вида нагрузки и места ее подключения. Во время каждого из измерений будем находить предельное время отключения КЗ, чтобы построить зависимости его от вида и величины нагрузки.

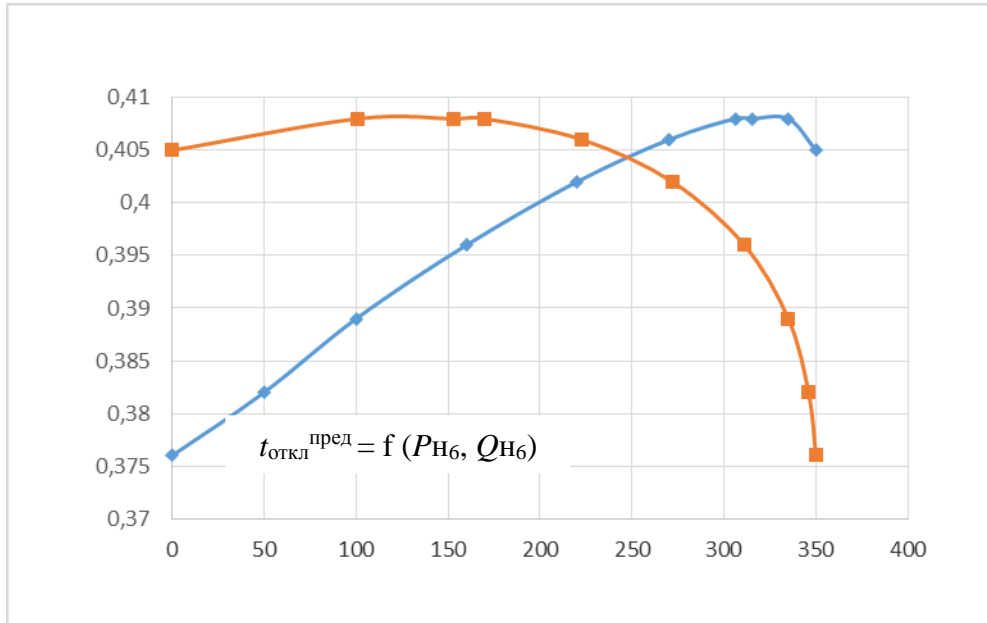


Рисунок 3. Предельное время отключения при  $S_2 = 250 + j \cdot 130 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_2| = 282 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

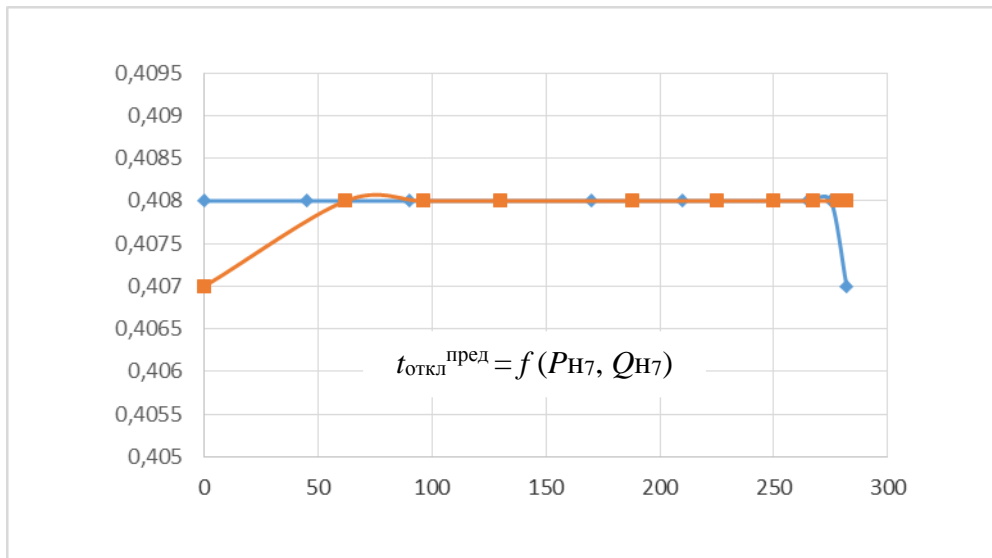


Рисунок 4. Предельное время отключения при  $S_3 = 270 + j \cdot 152 \text{ МВ} \cdot \text{А}$   $|S_3| = 310 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Из графиков можно заключить, что наибольший эффект от вида нагрузки имеет нагрузка б, то есть нагрузка, подключенная непосредственно к шинам исследуемой станции. Поэтому для узла б график имеет наиболее ярко выраженную форму. Что касается нагрузок в

узлах 4 и 7, то они находятся на значительном удалении от места КЗ и исследуемой станции, поэтому в меньшей степени влияют на устойчивость системы. При их изменении в широком диапазоне диапазон изменения предельного времени отключения КЗ находится в пределах 0,1с. Проанализируем влияние изменения вида нагрузки на устойчивость системы на примере шестого узла. При наличии в этом узле чисто активной нагрузки  $t_{пр}^{откл} = 0,405с$ , после подключение в узел части реактивной нагрузки это время немного увеличилось (до 0,408с), после чего по мере увеличения составляющей реактивной нагрузки постепенно уменьшалось. При подключении в узле 6 чисто реактивной нагрузки предельное время отключения КЗ достигло значения  $t_{пр}^{откл} = 0,376с$ .

Проверим аналитически экспериментально полученные данные. Если на шинах генератора станции подключена нагрузка, а остальная часть системы остается неизменной, то схема замещения такой системы (рис. 5):

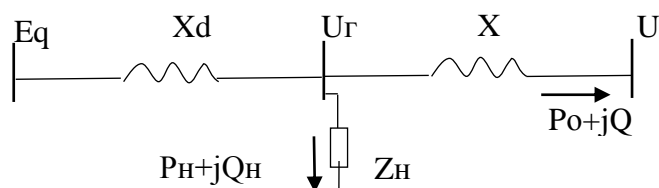


Рисунок 5. Схема замещения системы

Уравнение угловой характеристики мощности генераторов станции:

$$P_1 = E_q^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E_q \cdot y_{12} \cdot \sin(\delta_{12} - \alpha_{12})$$

где  $E_q$  – ЭДС генераторов станции, которая находится по формуле:

$$E_q = \sqrt{\left( U_z + \frac{(Q_N + Q_o + \Delta Q) \cdot x_d}{U_z} \right)^2 + \left( \frac{P_o \cdot x_d}{U_z} \right)^2}$$

$\alpha_{11}$  и  $\alpha_{12}$  – углы сопротивлений, которые определяются из значений собственных и взаимных проводимостей генераторов станции, которые, в свою очередь, зависят от величины сопротивления нагрузки:

$$\alpha_{11} = 90^\circ - \psi_{11} \quad Y_{11} = \frac{1}{Z_{11}} = y_{11} \cdot e^{j\psi_{11}} \quad Z_{11} = jx_d + \frac{jx_c(r_N + jx_N)}{jx_c + r_N + jx_N}$$

$$\alpha_{12} = 90^\circ - \psi_{12} \quad Y_{12} = \frac{1}{Z_{12}} = y_{12} \cdot e^{j\psi_{12}} \quad Z_{12} = jx_d + jx_c + \frac{jx_c jx_d}{r_N + jx_N}$$

Тогда как сопротивления нагрузки напрямую связаны с ее мощностью:

$$Z_N = r_N + jx_N + \frac{U_z^2}{S_N} \cdot \left( \frac{P_N}{S_N} + j \frac{Q_N}{S_N} \right)$$

С изменением угла  $\alpha_{11}$  угловая характеристика поднимается или опускается, а с изменением  $\alpha_{12}$  сдвигается влево или вправо. Причем чем больше активная мощность нагрузки, тем больше акт. составляющая собственного акт. сопротивления и меньше акт. составляющая взаимного сопротивления генераторов. При этом увеличивается угол  $\psi_{11}$  и уменьшается угол  $\psi_{12}$ .

Т.о. угловая характеристика  $P_1$  смещается вверх незначительно и влево на некоторый угол. То есть она как бы “вытягивается” и расширяется, смещаясь влево. Поэтому угол



$\delta_{\text{пр}}$ , зависящий от  $t_{\text{пр}}^{\text{откл}}$ , падает быстрее  $\delta_0$ , и для выполнения условия равенства площадок ускорения и торможения угол  $\delta_{\text{откл}}^{\text{пр}}$  также уменьшается, что влечет уменьшение предельного времени отключения КЗ. Обратный процесс аналогичен рассмотренному.

#### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ДЕЛЕНИЯ СТАНЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ

Игнатчик В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Была поставлена задача – исследовать влияние опережающего деления станции на устойчивость генератора.

В качестве методики оценки влияния ввода резерва на предельное время отключения примем следующее: моделируем возмущение на стороне высокого напряжения в виде трехфазного короткого замыкания (КЗ) на линии Л4 (рис.1). Определенное в этом режиме предельное время отключения принимаем за исходное, то есть, значение с которым будут сравниваться последующие результаты.

Следующим шагом устанавливаем автоматику на срабатывания выключателя В2 перед возникновением КЗ, для этого устанавливаем время равное 0,1с. После проводим аналогичные расчеты с резервируемой линией другим выключателем.

Расчет проводили на ЭВМ с использованием программы MUSTANG 2000.

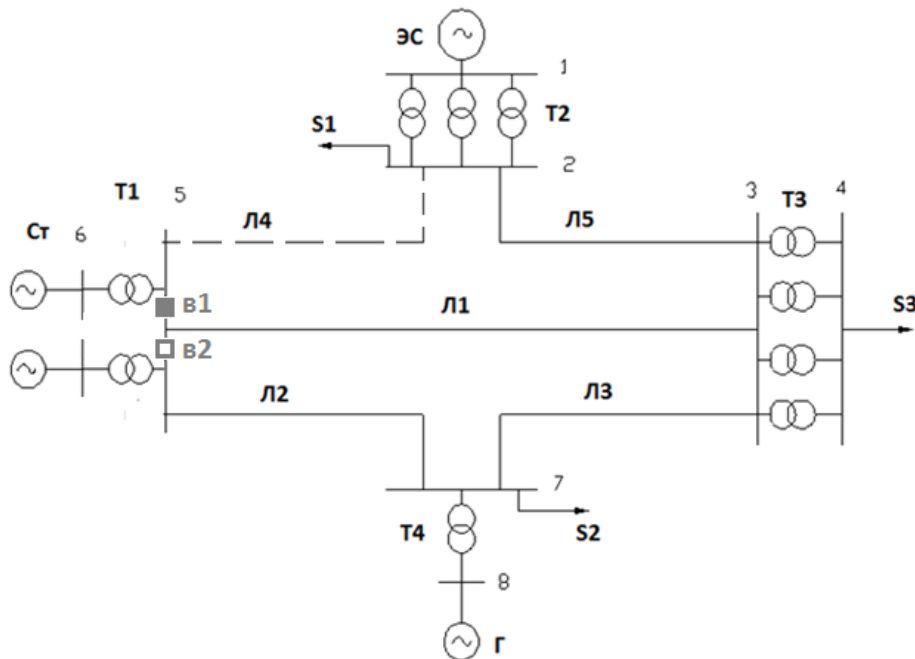


Рисунок 1 - Принципиальная схема исследуемой системы

Результаты расчетов представим в виде таблицы:

Таблица 1 – Результаты расчётов

Выключатель	Значение	$t_{откл}^{пр}, c$
В1	До	0,523
	После	0,53
В2	До	0,523
	После	0,535

Из таблицы видно, что предельное время отключения увеличилось, так как в случае КЗ генератор Г2 удален от питания поврежденной линии. Это увеличивает предельную передаваемую мощность в последовательном режиме.

Однако установка такого рода отделителей на станцию приводит к значительному увеличению стоимости электропередачи.

Целью работы являлось исследование эффективности опережающего деления станции на устойчивость синхронных генераторов станции. Как итог, с применением опережающего деления станции отключения короткого замыкания увеличивается, что ведет к увеличению устойчивости системы, однако данный метод повышения устойчивости, а именно деление шин возможен далеко не на всех станциях.

#### **Литература**

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

Савицкий Н.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д..

Регулирование реактивной мощности в энергосистемах имеет такое же важное значение, как и регулирование активной мощности. Регулирование реактивной мощности позволяет повысить перегрузочную способность этих устройств, поддерживать постоянство напряжения в сети, снизить ее перетоки по линиям и тем самым обеспечить устойчивую и экономичную работу энергосистемы.

Изменение тока возбуждения синхронной машины позволяет регулировать реактивную мощность. Согласно векторным диаграммам, в генераторном режиме при увеличении тока возбуждения синхронная машина отдает в сеть реактивную мощность, а при уменьшении тока возбуждения потребляет из сети реактивную мощность. Целью данного исследования было определение влияния режимов по реактивной мощности на динамическую устойчивость синхронной машины. Для расчетов использовалась следующая схема энергосистемы:

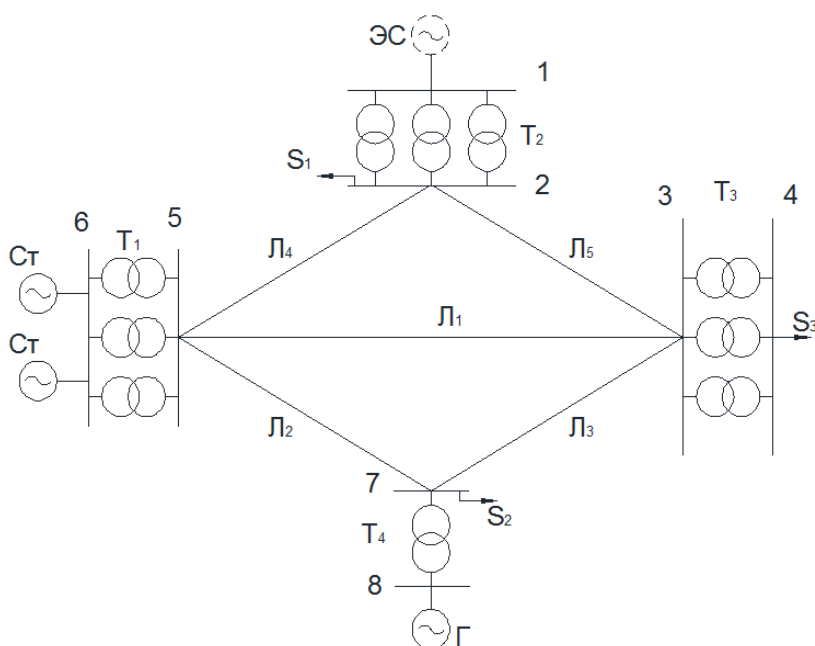


Рисунок 1 – схема исследуемой энергосистемы

Расчеты проводились по программе MUSTANG. На графиках полученные результаты совмещены с типовыми характеристиками генераторов. В результате были получены следующие результаты:

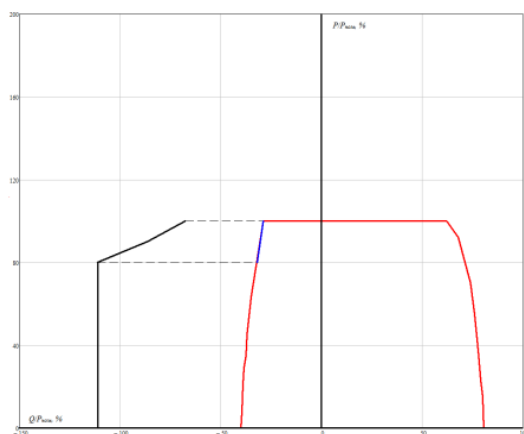


Рисунок 2 – Нормальный режим

В данном режиме реактивная мощность не влияет на устойчивость синхронной машины, поскольку режимы, при которых устойчивость нарушается, неосуществимы физически.

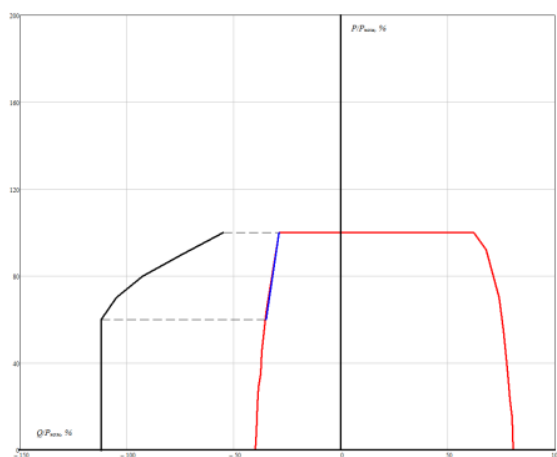


Рисунок 3 – Аварийный режим с отключенной ветвью 2-5.

Реактивная мощность также не влияет на устойчивость по причинам, аналогичным предыдущему пункту.

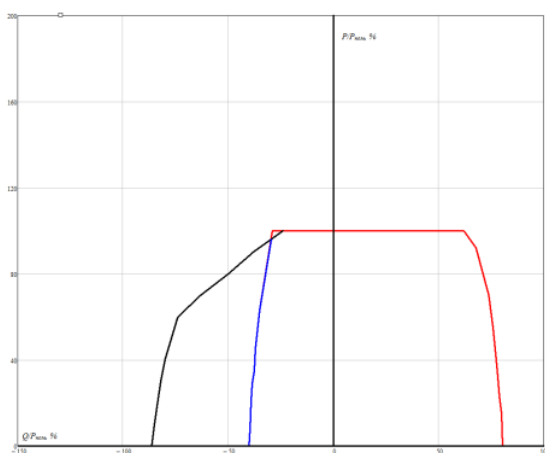


Рисунок 4 – Аварийный режим с отключенными ветвями 2-5 и 5-7.

При выработке мощности, близкой к номинальной, возможен такой режим по реактивной мощности, при которой динамическая устойчивость будет нарушена.

Выводы:

1. Режимы по реактивной мощности практически не влияют на устойчивость генератора в нормальных и не очень тяжелых режимах.
2. При очень тяжелых аварийных режимах устойчивость синхронного генератора может быть нарушена при выработке номинальной мощности и в небольших пределах около нее.

#### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Губаревич Т.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

В электрических сетях с избытком реактивной мощности, в частности, в узлах 330 кВ и более, в периоды малых нагрузок напряжения могут превысить допустимые значения. Для удержания напряжения в допустимых пределах необходимо потребить избыточную реактивную мощность, что может быть осуществлено с помощью шунтирующих реакторов.

При подключении шунтирующего реактора напряжение на шинах генератора снижается и для его восстановления необходимо увеличить ток возбуждения и соответственно ЭДС. Увеличение ЭДС генератора приводит к росту амплитуды характеристики мощности. Поскольку отрицательное влияние на характеристику мощности из-за увеличения взаимного сопротивления при наличии реактора обычно значительно меньше, чем увеличение ЭДС, то в результате подключения шунтирующего реактора амплитуда мощности увеличивается и устойчивость системы повышается. При отсутствии АРВ наличие шунтирующего реактора отрицательно сказывается на устойчивости системы.

Для изучения влияния шунтирующего реактора на устойчивость генераторов электростанции провели расчет динамической устойчивости для режима с АРВ ПД.

Расчет проводили на ЭВМ с использованием программы MUSTANG-2000.

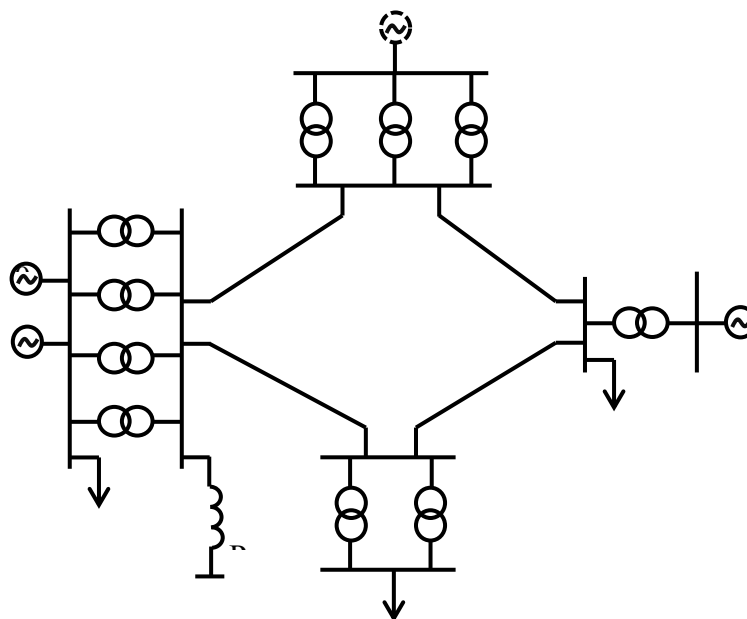


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергосистемы

В узле 5 установили шунтирующий реактор номинальной мощностью 180 Мвар. Тогда индуктивная проводимость реактора равна:

$$b = \frac{Q_{\text{шр}}}{U^2} = \frac{180}{330^2} = 1652,89 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

В результате предельное время отключения КЗ увеличилось на 0,0014 с по сравнению со временем отключения в нормальном режиме в системе без шунтирующего реактора ( $T_{\text{пр шр}} = 0,2844 \text{ с}$ ). То есть устойчивость системы повысилась. При этом генерация реактивной мощности увеличилась по сравнению с генерацией в системе без реактора.

АПВ оказалось эффективным. Предельное время отключения КЗ в нормальном режиме в системе с АПВ по сравнению со временем отключения КЗ в аналогичном режиме без шунтирующего реактора увеличилось на 0,004 с.

#### Литература

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.



УДК 621.311

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ

Третьяк И.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Исследуем влияние продольной емкостной компенсации и переключательных пунктов на устойчивость синхронных генераторов станции.

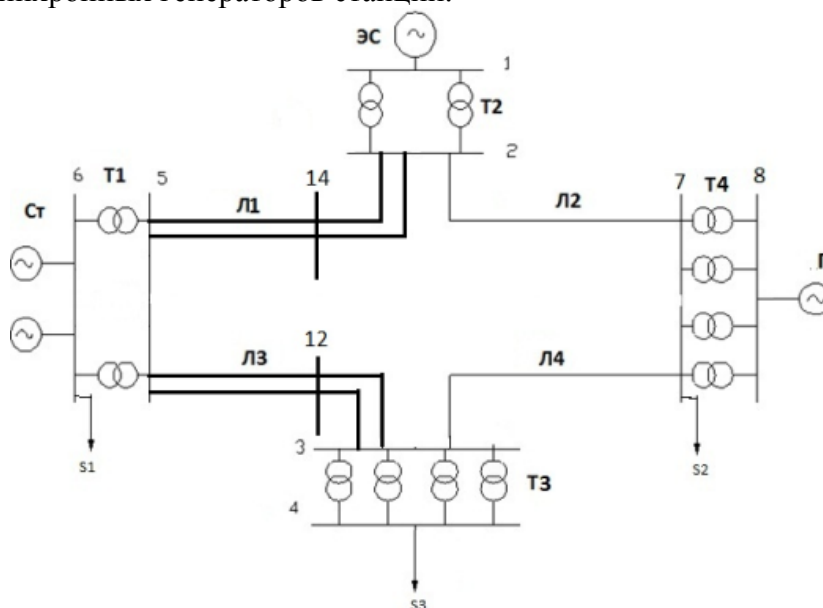


Рисунок 1 – Схема исследуемой сети

Как видно, у нас от станции отходят 2 линии, которые мы сделаем двухцепными и установим посередине переключательные пункты 11 и 12 соответственно на линиях 5 - 2 и 5 - 3.

Теперь, на примере линии 5 - 2, рассмотрим изменение предельного времени отключения после преобразования схемы при отключении линий 5 - 11, 11 - 2.

Расчеты будут проводиться в программе Mustang.WIN.

Составим таблицу, сравнив предельное время отключения линий до изменения схемы и после:

Таблица 1 – Предельное время отключения линий

№ линии	№ параллельности	Предельное время отключения, сек
5 - 2	-	0,414
5 - 11	1	0,417
5 - 11	2	0,417
11 - 2	1	0,426
11 - 2	2	0,426

Из таблицы видно, что предельное время отключения увеличилось, так как в случае КЗ отключается не вся цепь, а только поврежденный участок. Это уменьшает сопротивление электропередачи и увеличивает предельную передаваемую мощность в последовательном режиме.

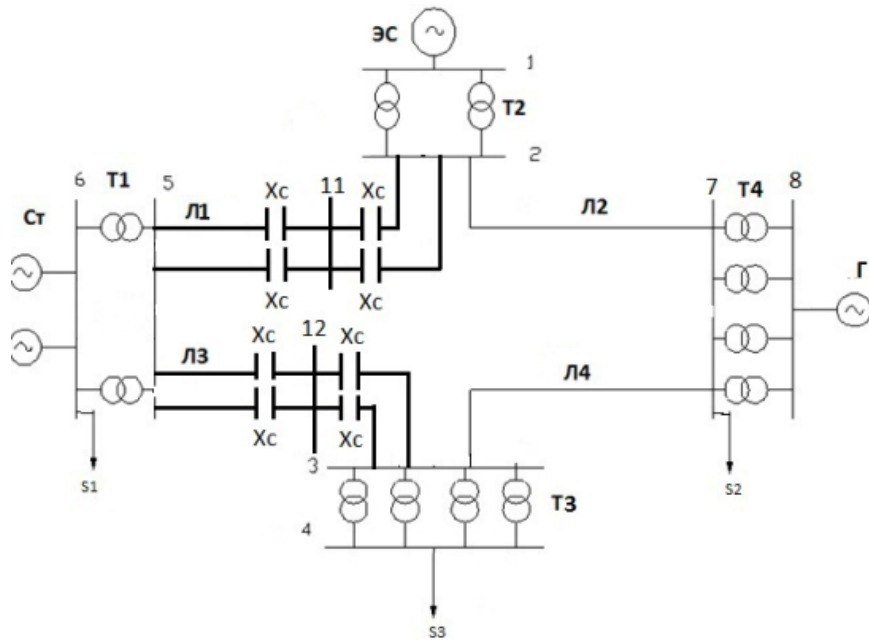


Рисунок 2 – Схема сети с конденсаторными батареями

В линии, отходящие от станции, последовательно включим устройства продольной емкостной компенсации, выполненных в виде конденсаторных батарей. При исследовании будем использовать схему с переключательными пунктами.

Теперь, на примере линий 5 - 11 и 11 - 2 рассмотрим влияние степени компенсации индуктивного сопротивления линии на предельное время отключения, путем изменения реактивного сопротивления линии от 1 до 0,35 от начального.

Исследовать будем одну ветвь двухцепной линии, так как результат исследования второй аналогичен.

Результаты исследования представлены на графике:

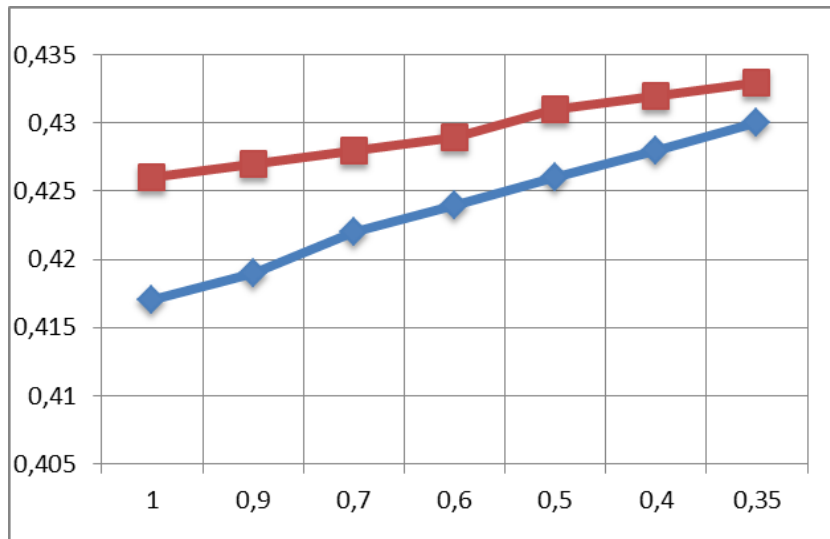


Рисунок 3 – Результаты исследования

Из графика видно, что с уменьшением индуктивного сопротивления линии предельное время отключения увеличивается. Это объясняется тем, что увеличение степени компенсации влечет за собой увеличение пропускной способности: чем выше степень компенсации, тем больше амплитуда характеристики мощности.

**Литература**

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ

Степура А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Для передачи энергии и объединения энергосистем используются линии не только переменного, но и постоянного тока. Функциональная схема такой линии, осуществляющей связь между двумя электроэнергетическими системами, приведена на рисунке. В современных энергосистемах генерация электрической энергии, ее распределение и потребление осуществляются на переменном токе. Поэтому линии электропередачи постоянного тока используется лишь для транспорта электрической энергии из одной системы в другую.

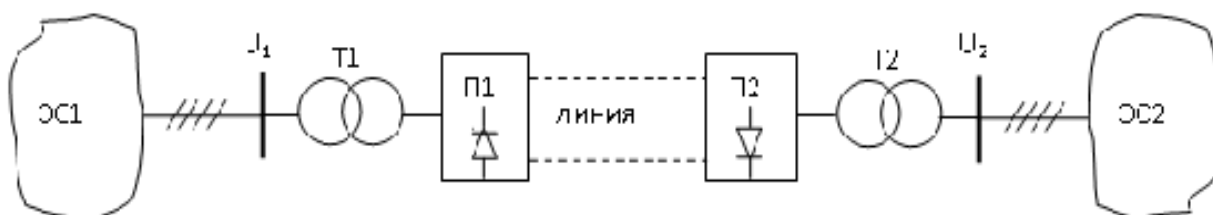


Рисунок 1 Функциональная схема линии электропередачи

Для осуществления передачи электрической энергии постоянным током энергию переменного тока, вырабатываемую генераторами передающей системы, преобразуют в энергию постоянного тока. В таком виде энергия, передаваемая по линии, на приемном конце которой она вновь преобразуется в энергию переменного тока и передается в приемную энергосистему.

Преобразование электрической энергии осуществляется с помощью преобразователей П1 и П2, расположенных по концам передачи и подключенных к передающей и приемной системам. Один из этих преобразователей является выпрямителем, другой - инвертором. В качестве преобразователей для электропередач постоянного тока в настоящее время применяют статические управляемые вентильные преобразователи, обладающие свойством реверсивности. При изменении направления передачи мощности от ЭС2 к ЭС1 П2 становится выпрямителем, а П1 - инвертором.

Смоделируем вставку постоянного тока в узле 3 в нагрузочном режиме как нагрузку, а в генераторном режиме генератором. Будем изменять мощность вставки от (1,0 до -1,0)  $P$  генератора с шагом (0,5 $P$ ), так как реактивная мощность вставки практически равна 0.

Вставка как нагрузка в режиме без АРВ:

А) 400 МВт

Предельная передаваемая мощность незначительно снизилась с 216 до 213 МВт.  $P_0$  для этого случая равно также 170 МВт.

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{213 - 170}{170} = 0,25 > K_{\text{рн}}(0,2)$$

Условие выполнено, надежность и устойчивость работы системы соблюдается, однако она несколько ухудшилась, по сравнению с режимом без АРВ и вставки ( $K_p$  0,25 < 0,27).

Б) 200 МВт

Предельная передаваемая мощность 215 МВт.

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{215 - 170}{170} = 0,26 > K_{\text{рн}}(0,2)$$

Вывод: в режиме без АРВ при моделировании вставки как нагрузки устойчивость не изменяется.

В) 0 МВт – устойчивость осталась та же.

Вставка как нагрузка в режиме с АРВ:

А) 400 МВт

Предельная передаваемая мощность увеличилась с 994 МВт до 1120 МВт. Это связано с тем, что в исследуемой мной энергосистеме генерируется значительно больше мощности, чем потребляется (генерация примерно в 2,3 раза больше нагрузки). Поэтому избыточная мощность потребляется вставкой постоянного тока.

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{1120 - 400}{400} = 1,8 > K_{\text{рн}}(0,2)$$

$K_p$  возросло с 1,49 до 1,8.

Б) 200 МВт

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{1117 - 400}{400} = 1,79 > K_{\text{рн}}(0,2)$$

В режиме генераторов станции без АРВ ни при  $P$  вставки 200 МВт, ни при 400 МВт устойчивость генераторов не изменилась.  $P_{\text{max}} = 216$  МВт,  $P_0 = 170$  МВт.

В режиме с АРВ  $P_{\text{max}} = 954$  МВт при  $P$  вставки 400 МВт и  $P_{\text{max}} = 980$  МВт при  $P$  вставки 200 МВт.

$$K_{p400} = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{954 - 400}{400} = 1,39 > K_{\text{рн}}(0,2), \text{ без вставки } 1,49.$$

$$K_{p200} = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{980 - 400}{400} = 1,45 > K_{\text{рн}}(0,2), \text{ без вставки } 1,49.$$

Вывод: в режиме вставки как генератора, статическая устойчивость генераторов станции с АРВ ухудшается. В режиме вставки как нагрузки наоборот, увеличивается. Устойчивость генераторов без АРВ практически не меняется при наличии вставки в узле 3. Следовательно, вставку постоянного тока лучше использовать как потребитель мощности.

#### Литература

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Семашко В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Для улучшения устойчивой работы станций в аварийных и послеаварийных режимах применяется отключение части синхронных машин (генераторов).

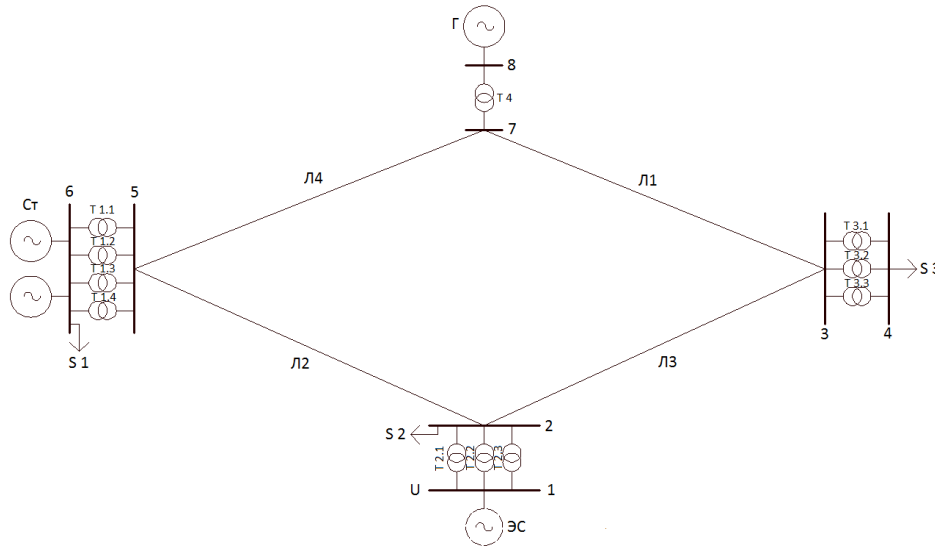


Рисунок 1 Схема исследуемой сети

Для оценки устойчивости изобразим угловую характеристику для нормального, аварийного и послеаварийного режима работы системы при этом критерием устойчивости будет соотношение площадок ускорения и торможения  $f_y$  и  $f_T$  соответственно.

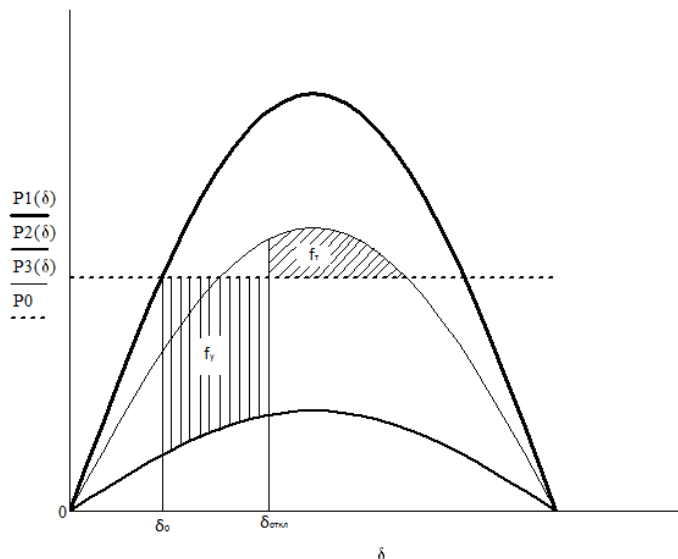


Рисунок 2 Угловая характеристика при аварийном режиме

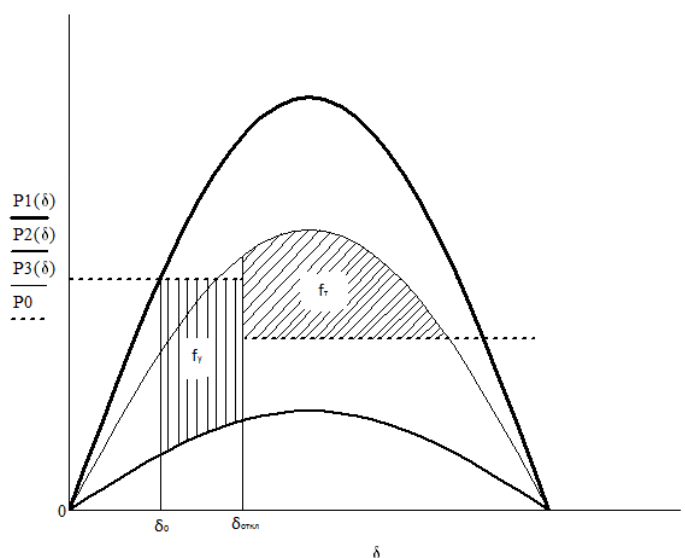


Рисунок 3 Угловая характеристика при отключенном генераторе

По рисунку 2 видно, что система не устойчива. Отключив один из генераторов в момент короткого замыкания, получим угловую характеристику на рисунке 3, при этом механическая мощность составит  $P_{мех}^{откл} = P_0 \frac{n-m}{n}$ , где  $n$  – общее число работающих генераторов,  $m$  – число отключенных генераторов; также изменится площадка ускорения  $f_y = f_{y0} \frac{n-m}{n}$ . При отключении генератора система становится устойчивой.

Целью данного исследования был анализ влияния отключения генераторов на устойчивость станции в аварийных и послеаварийных режимах. Для расчетов использовалась схема энергосистемы, изображенная на рисунке 1, в которой моделировалось трехфазное короткое замыкание в узлах 2, 3, 5 и 7.

Расчеты проводились по программе MUSTANG. Полученные результаты сведены в таблицу:

Таблица 1 – Результаты расчетов

Номер узла, в котором произошло короткое замыкание	Предельное время отключения короткого замыкания, с		Прирост времени	
	Без отключения генератора	С отключением генератора	с	%
2	0,447	0,462	0,015	3,36
3	-	-	-	-
5	0,447	0,461	0,014	3,13
7	-	-	-	-

При коротком замыкании в узлах 7 и 3 станция Ст не теряет устойчивость.

**Выводы:** по результатам расчетов динамической устойчивости станции с одним отключенным генератором можно судить об эффективности отключения генератора в момент отключения короткого замыкания, при коротком замыкании в узле 2 предельное время отключения увеличилось на 0,015 секунды, а при коротком замыкании в узле 5 на 0,014 секунды. Увеличение предельного времени отключения короткого замыкания, а следовательно и увеличение устойчивости станции не значительно, при этом необходимо

учитывать, что при отключении генератора в системе может возникнуть небаланс мощностей, а следовательно и уменьшение частоты, в этом случае потребуется увеличить генерацию мощности на других станциях, либо применять АЧР, следовательно отключение генераторов от энергосистемы, как мера улучшения устойчивости системы, хоть и возможна, но прибегать к ней следует, в крайнем случае.

#### Литература

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.



УДК 621.311

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА РЕЗЕРВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ

Скок А.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Была поставлена задача - исследовать влияние автоматического ввода резерва (АВР) на устойчивость генератора.

В качестве методики оценки влияния ввода резерва на предельное время отключения примем следующее: моделируем возмущение на стороне высокого напряжения в виде трехфазного короткого замыкания (КЗ) на линии Л4 (рис.1) при отключенной линии Л1 (выведенной в резерв). Определенное в этом режиме предельное время отключения принимаем за исходное, то есть, значение с которым будут сравниваться последующие результаты.

Следующим шагом устанавливаем автоматику на включение линии Л1 после исчезновения КЗ с выдержкой времени  $\Delta t$ , характеризующей быстрдействие АВР. Время срабатывания АВР изменяем в диапазоне от 0 до 2 секунд, что обусловлено использованием разных типов АВР. После чего проводим аналогичные расчеты с резервируемой линией Л2.

Расчет проводили на ЭВМ с использованием программы MUSTANG 2000.

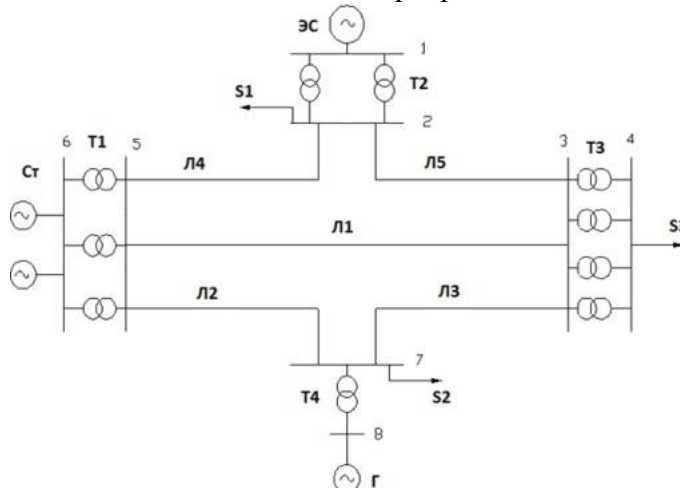


Рисунок 1 - Принципиальная схема исследуемой системы

Результаты расчетов удобно представить в виде таблицы:

Таблица 1 – результаты расчётов

Резервируемая линия	Без АВР	С АВР			
	$t_{откл}^{пр}$ , с	$t_{откл}^{пр}$ , с	$\Delta t$ , с	Эффект, с	Эффект, %
Л1	0,143	0,222	0	0,079	55,2
		0,197	0,1	0,054	37,8
		0,152	0,5	0,009	6,3
		0,144	1	0,001	0,7
		0,143	2	0	0
Л2	0,209	0,226	0	0,017	8,1
		0,215	0,1	0,006	2,9
		0,209	0,5	0	0
		0,209	1	0	0
		0,209	2	0	0

Для оценки и анализа результатов построен график зависимости эффекта применения АВР от времени срабатывания АВР  $\Delta t$ .

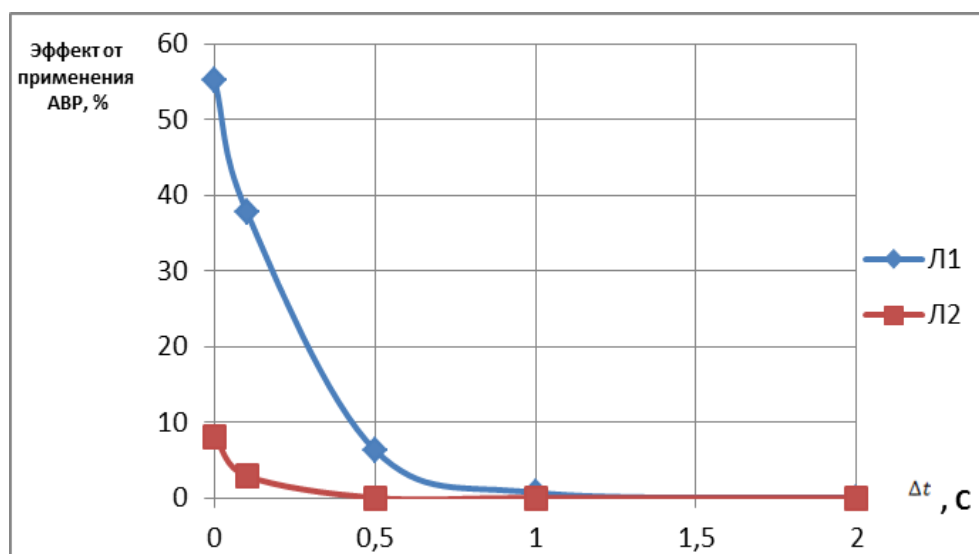


Рисунок 2. – График зависимости эффекта АВР

Таким образом, как видно из графика, эффективность, а, следовательно, и целесообразность применения АВР определяется главным образом его быстродействием. У различных типов АВР этот параметр отличается от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. Наиболее привлекательным вариантом является применение тиристорных (электронных) АВР с быстродействием порядка 3мс.

В рассматриваемой системе практически не имеет смысла применение АВР с быстродействием  $> 0,5\text{с}$ .

#### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

Якушева Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Была поставлена задача - исследовать влияние изменения постоянной механической инерции электрических машин.

В качестве методики оценки влияния постоянной инерции на предельное время отключения примем следующее: моделируем возмущение на шинах высокого напряжения в виде трехфазного короткого замыкания (КЗ) в узлах, удаленных на различное расстояние от исследуемого генератора. Следующим шагом изменяем постоянную инерции ( $M_j/T_j$ ) генератора в диапазоне от 3 до 15 в о.е. Для каждой постоянной инерции находим время предельного отключения, т.е. максимальное время при котором устойчивость сохраняется. Строим зависимость предельного времени отключения от постоянной инерции. Переносим КЗ в следующий из выделенных узлов и повторяет расчеты. Расчет проводили на ЭВМ с использованием программы MUSTANG 2000.

Величина постоянной механической инерции численно равна промежутку времени, необходимому для изменения скорости машины от нуля до синхронной при постоянном вращающемся моменте, равном номинальному.

Влияние постоянной механической инерции на время отключения можно оценить, если рассмотреть режимы электрических машин при КЗ на их шинах.

Предельное время отключения КЗ для синхронных машин определяется по формуле:

$$t_{отк}^{нр} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j (\delta_{отк}^{нр} - \delta_0)}{P_0}}$$

где  $T_j$  – постоянная механическая инерции;

$\delta_{отк}^{нр}$  – предельный угол отключения короткого замыкания;

$\delta_0$  – угол сдвига вектора ЭДС относительно вектора напряжения системы;

$P_0$  – мощность первичного двигателя (постоянная).

Из данного уравнения следует, что увеличение постоянной инерции увеличивает предельное время отключения КЗ  $t_{нр}$ , в течение которого достигается предельный угол  $\delta_{нр}$ . При этом для повышения в  $n$  раз предельного времени отключения в установившемся режиме постоянную инерции синхронной машины необходимо увеличить в  $n^2$  раз.

С использованием программы MUSTANG 2000 был произведен расчет динамической устойчивости исследуемой системы в интервале времени от 0 с до 3 с при следующих возмущениях: в момент времени  $t = 0,2$  с происходит КЗ в узле на шинах высшего напряжения и продолжается до некоторого момента времени с последующим отключением самой загруженной линии. Задача состоит в экспериментальном подборе времени, при котором система еще сохраняет устойчивость в данном режиме, для каждой постоянной инерции генераторов из исследуемого промежутка (3 – 15).

Полученные результаты расчетов сведены в таблицы. Изменения время предельного отключения от постоянной инерции для режимов с КЗ в узлах, удаленных на различное расстояние от исследуемого генератора, продемонстрированы с помощью зависимостей, которые в общем случае имеют следующий вид:

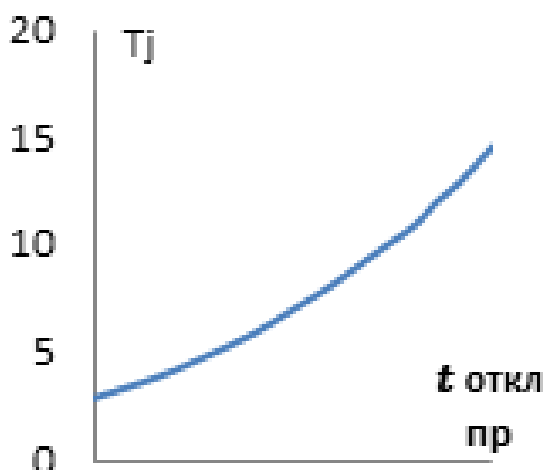


Рисунок 1 – Изменение времени предельного отключения от постоянной инерции

В результате проделанной работы была исследована зависимость предельного времени отключения от постоянной инерции генератора.

В результате расчетов определено предельное время отключения для различной постоянной механической инерции генератора при возмущениях в узлах, удаленных от исследуемого генератора на различные расстояния. Наглядно показано влияние изменения постоянной механической инерции на предельное время отключения.

В исследуемом диапазоне изменения постоянной механической инерции генератора (от 3 до 15) при КЗ в узле 2 предельное время отключения возросло на 23%, в узле 3 – на 14%, в узле 5 – на 31%, в узлу 7 – на 2%. Увеличение величины постоянной механической инерции увеличивает предельное время отключения, что в свою очередь повышает устойчивость исследуемой ЭЭС. По результатам серии расчетов видно, что наибольший эффект оказывает постоянная механическая инерции на устойчивость системы при КЗ на шинах вблизи исследуемого генератора.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением постоянной инерции, увеличивается динамическая устойчивость системы.

#### Литература

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ СЕТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СГ СТАНЦИИ

Суськова В.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Филипчик Ю.Д.

Современное развитие энергетики, направленное на обеспечение бесперебойного снабжения электроэнергией всех отраслей экономики, базируется на основе создания мощных и разветвленных энергосистем, включающих в себя крупные электростанции, внутрисистемные и межсистемные связи в виде линий электропередач и широкую распределительную сеть.

Устойчивость параллельной работы линии электропередачи играет наиболее важную роль при передаче электрической энергии на далекие расстояния. Пропускная способность линии по условиям устойчивости растет пропорционально квадрату напряжения, а потому повышение напряжения электропередачи является одним из наиболее эффективных способов увеличения нагрузки на одну цепь, а тем самым и сокращения числа параллельных цепей.

В тех случаях, когда речь идет о передаче весьма больших мощностей порядка 1 млн. кВт и более на большие расстояния технически и экономически является нецелесообразным, то необходимо весьма значительное повышение напряжения. При этом, однако, значительно возрастают размеры оборудования, его вес и стоимость, а также трудности его изготовления и освоения. В связи с этим за последние годы разработаны мероприятия повышения пропускной способности линий передачи, которые были бы недороги и в тоже время достаточно эффективны.

Основным способом повышения устойчивости является увеличение предела передаваемой мощности. Этого можно достичь повышением ЭДС генераторов, напряжения на шинах нагрузки или уменьшением индуктивного сопротивления линии.

Для систем электропередачи большой протяженности параметры линий являются определяющими в обеспечении устойчивости всей электропередачи. Применение АРВ СД на генераторах электростанций ещё больше повысило влияние линий на условие устойчивости, так как в этом случае предельно передаваемая мощность определяется выражением

$$P_{\text{пр}} = \frac{U_T U}{x_T + x_n}$$

Поскольку индуктивное сопротивление ( $x_n$ ) возрастает с увеличением длины линии ( $x_n = x_0 \cdot l$ ), то значение предельной по условиям статической устойчивости передаваемой мощности существенно уменьшается. Стоимость же линий с увеличением длины, наоборот, увеличивается и относительно быстро достигает экономического предела дальности электропередачи. Поэтому проблема устойчивости является одним из основных факторов, ограничивающих дальность передачи энергии переменным током. Это заставляет уделять особое внимание средствам повышения устойчивости систем электропередачи большой протяженности.

Наиболее простым и технически доступным является увеличение числа проводов в расщепленной фазе. При этом уменьшается напряженность поля на составляющих расщепленных фаз, что позволяет увеличивать шаг расщепления. Это в свою очередь ведет к снижению индуктивного и волнового сопротивлений и, следовательно, к повышению пропускной способности. Особенно эффективно расщепление фазы на 2 и 3 провода; дальнейшее расщепление не приводит к значительному снижению индуктивного сопротивления линий. Следует иметь в виду, что расщепление проводов применяется не только для повышения устойчивости, а главным образом направлено на снижение короны.

В настоящее время выполняются исследования и проектные работы по использованию сверхпроводящих, управляемых и настроенных линий электропередачи, имеющих повышенную пропускную способность по условиям устойчивости.

В данной работе было проведено исследование влияния параметров схемы сети, в частности индуктивного сопротивления линий, на устойчивость системы. Была произведена серия расчетов динамической устойчивости, в процессе которых было найдено предельное время отключения для каждого из случаев изменения долей реактивного сопротивления трех подходящих к станции линий в отдельности, а также одновременного изменения этого параметра во всех трех линиях на одни и те же доли. Результаты расчетов отображены в виде графиков на рис. 1.

Исследование показало, что наибольшее значение предельного времени отключения достигается при снижении реактивного сопротивления линии Л1 до 0,3 от начального – 0,292 с (в сравнении с начальным режимом при работе всех линий с сопротивлением 1,0 – 0,269 с). При этом особенно резкое увеличение предельного времени отключения для этой линии наблюдается при снижении реактивного сопротивления до 0,5 и ниже от начального.

Анализ расчетов для линии Л2 показывает, что существенного влияния на величину предельного времени отключения снижение индуктивного сопротивления, даже до нижней исследуемой границы 0,3, не оказывает.

Для линии Л4 некоторое влияние оказывает снижение реактивного сопротивления до 0,7 и ниже, предельное время отключения в нижней точке – 0, 273 с.

Зависимость предельного отключения от части начального реактивного сопротивления для изменения величин всех трех линий синхронно имеет прямолинейный вид, демонстрируя постепенное увеличение предельного времени отключения с уменьшением реактивных сопротивлений линий. Наибольшее предельное время отключения практически равно аналогичному значению для линии 1 – 0,29 с.

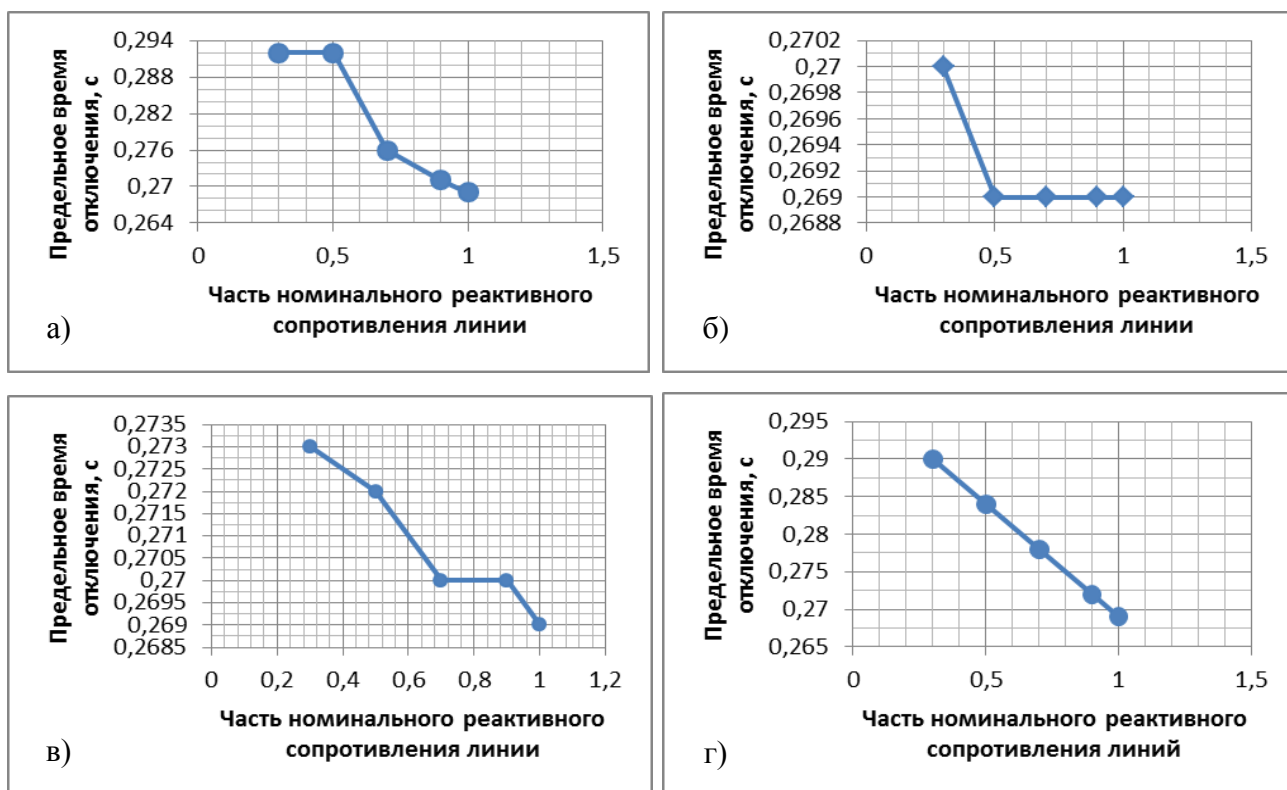


Рисунок 1. Зависимость предельного отключения от части начального реактивного сопротивления: а – для линии Л1; б – для линии Л2; в – для линии Л3; г – при одновременном изменении параметров всех трех линий

Зависимость времени от реактивного сопротивления убывающая, предельное время отключения постепенно увеличивается при уменьшении доли реактивного сопротивления линий (рис. 1, г).

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что влияние снижения реактивного сопротивления на увеличение предельного времени отключения и, как следствие, повышение динамической устойчивости, не так однозначно, поскольку для линии Л2 оно практически не дало результатов; однако в целом можно говорить о некотором повышении динамической устойчивости вследствие снижения реактивного сопротивления линий как меры увеличения предельной передаваемой мощности.

#### Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М., Энергия, 1979. - 456 с.

УДК 621.311

## ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВТОРОЙ КАТЕГОРИИ

Баранова Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А.Л.

Уровень надежности как показатель схемы электроснабжения потребителей второй категории может быть оценен в количественном выражении. В качестве такого критерия примем коэффициент неготовности схемы нести нагрузку из-за внезапных отказов ее элементов. Для исследования выбираем схему городской распределительной электрической сети для электроснабжения потребителей второй категории, которая является частью схемы электрических соединений жилого микрорайона Лошица (г. Минск).

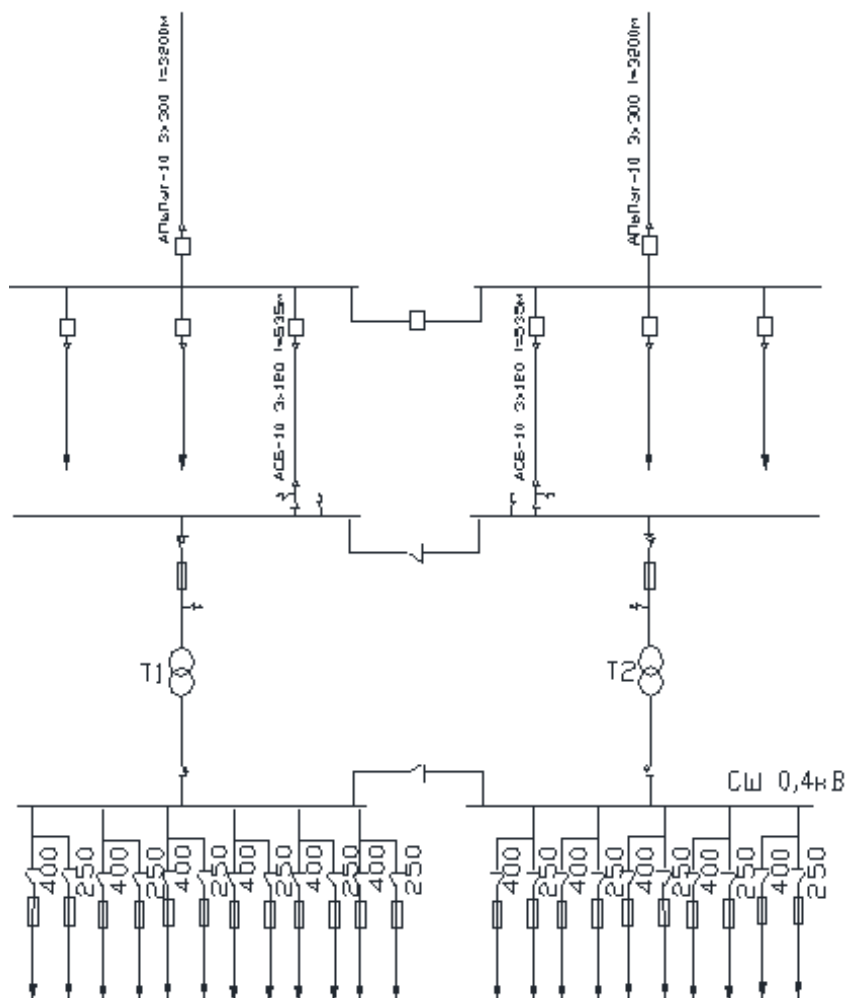


Рисунок 1 Схема электроснабжения городской сети

Для автоматизации процесса анализа схемы используем программу REISS. Реализованная в программе модель анализа позволяет вычислить частоты  $\lambda$  и длительности  $T$  погашений потребителей в нормальном режиме и в режимах аварийного и рабочего электроснабжения с учетом простоя и повреждения оборудования систем резервного и рабочего электроснабжения, возможности отказов в срабатывании устройств релейной защиты (РЗ) и коммутационной аппаратуры (КА) при отключении КЗ, отказов в срабатывании АВР. В общем виде показатели надежности:



$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k) \quad T = \frac{1}{\lambda} \sum_k T(k)\lambda(k)$$

$T(k)$  и  $\lambda(k)$  – длительность и частота смоделированных аварий  $k$ -го вида

$$\lambda(k) = q(k, j)\lambda(k, m) \min \left\{ \frac{t(k, j)}{2}; t(k, m); t_{o.n.} \right\} \prod_s Q(k, s)$$

$q(k, j)$  – относительная длительность ремонтного простоя  $j$ -го элемента, о.е.;  $\lambda(k, m)$  – частота повреждения  $m$ -го элемента схемы, 1/год;  $t(k, m)$  и  $t(k, j)$  – длительность послеаварийного восстановления  $m$ -го и  $j$ -го элементов схемы, ч;  $t_{o.n.}$  – время оперативных переключений, ч.

$$K_H = t\lambda/8760 - \text{коэффициент неготовности потребителей.}$$

Таблица 1. Показатели надежности элементов городской электрической сети

Элемент	Ном. напряжение $U_n$ , кВ	$\lambda_i$ , 1/год	$t_s$ , ч/отказ	$\lambda_{пл}$ , 1/год	$t_{пл}$ , ч/откл.
Масляные выключатели	6 - 10	0,01500	9,0	0,140	6,8
Вакуумные выключатели	10	0,00400	8,0	0,200	15,4
Силовые трансформаторы	6 - 10	0,01400	42,0	0,250	6,0
Кабельные линии на 1 км	6 - 10	0,00500	4,4	1,000	2,0
Сборные шины	6 - 10	0,09000	2,0	0,498	15,0
	0,38	0,00200	0,9	0,498	15,0
Предохранители	6 - 10	0,02000	2,0	0,166	4,0
Автоматические выключатели	0,38	0,00130	1,3	0	0
Рубильники	0,38	0,00005	2,0	0,166	1,8

Все перечисленные элементы схемы разделяются на ветви и узлы, где ветвями являются КА, а узлами – остальные элементы схемы. Далее составляется матрица связей узлов и ветвей схемы, для чего для каждой ветви в порядке увеличения их номеров записываются номера двух примыкающих узлов. При составлении матрицы связей никакие два узла не могут соединяться друг с другом непосредственно, без КА, и наоборот, никакие два КА не могут следовать друг за другом непосредственно без узла. При этом для ветвей, соответствующих автоматическим вводам резервного питания, следует соблюдать последовательность записи узлов: от узла, подводящего резервное питание, к потребляющему узлу.

В результате оказалось, что наиболее удаленная система шин (12) имеет наибольший коэффициент неготовности, который, к примеру, в 1,18 раз больше соответствующего коэффициента для потребителей, получающих электроэнергию от системы шин 3. Кроме того, наибольшую длительность перерыва электроснабжения при всех возможных вариантах событий вызывает выход из строя разъединителей и трансформаторов, связанных с питанием рассматриваемой точки сети. Время послеаварийного восстановления последних велико, чем можно объяснить тяжелые последствия для потребителей при выходе из строя питающих их

трансформаторов. Наиболее уязвимыми элементами схемы могли оказаться кабельные линии, однако, в силу их небольшой длины они обладают даже лучшими характеристиками надежности, чем системы сборных шин схемы. При сравнении схем сети с установленными в ней поочередно маломасляными и вакуумными выключателями получаем:

Таблица 2. Сравнительный анализ маломасляных и вакуумных выключателей

Тип выключателей	Шины	$\lambda$ , 1/год	T, ч	К <sub>нг</sub> , о.е.
Маломасляные	11	.9366E-01	.1978E+01	.2148E-04
	12	.3147E+00	.2943E+01	.1076E-03
Вакуумные	11	.9350E-01	.1954E+01	.2085E-04
	12	.3139E+00	.2918E+01	.1046E-03

Таким образом, применение вакуумных выключателей позволяет снизить коэффициент неготовности в (1,028 - 1,030) раза, т.е. несущественно. Это можно объяснить учетом надежности работы АВР на распределительном пункте 10 кВ.

В целом, надежность электроснабжения потребителей в рассмотренной схеме имеет стабильные высокие показатели при развитии различных сценариев аварийных ситуаций, благодаря наличию автоматического ввода резервного питания, а также применению автоматических отключающих аппаратов и работе городской сети в разомкнутом режиме. В исследовании рассматривались только показатели надежности схемы сети для различных потребителей, получающих питание по данной схеме, и не были учтены такие критерии, как минимум токов замыкания на землю или минимум приведенных затрат.

#### Литература

1. Дуров В.В. Исследование надежности устройств автоматического регулирования и электроснабжения пассажирских вагонов. Диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1974. - 229 л.
2. Жаров Ю.С. Исследование надежности работы электрических сетей 20 кВ. Автореф. дксс. на соискание учен. степени канд. техн. наук (275). Рига: Ред. - изд. отдел РПИ, 1972, - 24 с.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности. М.: Советское радио, 1975. - 471 с.

## КОММЕРЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ

Супруненко А.М., Попкова Н.А.

Научный руководитель – ассистент Секацкий Д.А.

Фактические потери, т.е. разница между отпущенной в сеть и оплаченной электроэнергией, укрупнено имеют четыре составляющие: технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей; потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения (недоучет); расход электроэнергии на собственные нужды подстанций и плавку гололеда, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и линий электропередач и жизнедеятельности обслуживающего персонала; коммерческие потери, не имеют самостоятельного математического описания и, как следствие, не могут быть рассчитаны автономно. Их значение определяют, как разницу между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих, представляющих собой технологические потери.

В общем случае составляющие коммерческих потерь электроэнергии предлагается объединить в три группы, обусловленные:

Погрешностями измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной электроэнергии потребителям;

Задолженностью к оплате за потребленную электроэнергию.

Хищение электроэнергии.

Способы хищения электроэнергии

Потери от хищения электроэнергии связаны с незаконным подключением потребителей и мошенничеством с приборами учета и т.д. Это одна из наиболее существенных составляющих коммерческих потерь.

С учетом классификатора их можно разделить на 2 группы:

**Расчетные.** Занижение фактического расхода электроэнергии за счет расчетных коэффициентов, занижение расчетных потерь активной мощности в абонентских трансформациях, недобросовестное использование ступенчатых тарифов, использование ограничений счетного механизма электросчетчика.

**Конструктивно-технологические.** К ним относятся те способы, которые предусматривают умышленное несанкционированное вмешательство непосредственно в процесс электроснабжения с целью изменения его технологической схемы или любое воздействие на приборы учета с целью искажения показаний или нарушения их работоспособности. Это:

Механические

1. Электромагнитные

2. Схемные

Рассмотрим расчетные способы хищения.

Занижение фактического расхода электроэнергии может иметь место в

том случае, если счетчик электроэнергии подключен к линии электроснабжения через измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) и имеет внутренний расчетный коэффициент для вычисления потребления электрической энергии. В общем случае фактический расход электроэнергии  $W$  равен произведению разницы показаний счетчика активной энергии ( $\Pi_1 - \Pi_2$ ) на расчетный коэффициент счетчика  $K_{расч}$  и на коэффициенты трансформации измерительных ТТ  $K_I$  и ТН  $K_U$

$$W = K_{р.сч.} K_I K_U (\Pi_1 - \Pi_2), \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Уменьшая значение каждого из множителей в приведенной формуле, можно существенно снизить данные о фактическом потреблении электроэнергии. Значение расчетного коэффициента счетчика  $K_{рсн}$  определяется его параметрами (постоянной счетчика, передаточным числом счетчика и коэффициентом счетчика).

Занижение расчетных потерь активной мощности имеет место при выполнении потребителем самостоятельного снятия показаний счетчика без контроля снабжающей организации. Потребитель умышленно занижает значения часов работы трансформатора под нагрузкой.

Недобросовестное использование ступенчатых тарифов.

Ступенчатые тарифы предполагают увеличение стоимости электроэнергии с увеличением уровня ее потребления. При этом потребителям предоставляется возможность оплачивать электроэнергию не ежемесячно, а выборочно (по соответствующей ставке) сразу за несколько месяцев. Недобросовестный потребитель может оплачивать по минимальной ставке электроэнергию, в действительности потребленную во время действия более высокого тарифа.

Использование ограничений счетного механизма счетчиков электроэнергии

возможно, если установленный у потребителя счетчик имеет ограниченное число счетных разрядов, например, 4. При постоянном, интенсивном потреблении электроэнергии бытовыми и мелкомоторными потребителями возможно переполнение счетного механизма и его циклическая работа уже через 3 месяца. Это делает невозможным установить истинное потребление электроэнергии.

Рассмотрим конструкционно-технологические способы хищения.

Механические. Механическое воздействие на счетный механизм с целью его повреждения или изменения условий работы, например, выкусывание зубцов счетного механизма, механическое торможение диска счетного механизма: этот вариант может иметь разновидности:

в боковой поверхности, счетчика сверлом малого диаметра высверливают отверстие, затем вставляют тонкую проволоку так, чтобы она, касаясь диска, тормозила его. Затем отверстие замазывают мастикой или пластилином в один цвет с корпусом счетчика.

или более интересный и творческий вариант, который имел место в сетях Израиля: при наружной установке электросчетчиков в щелку его корпуса капали немного сиропа, на который сползались муравьи и тормозили вращение диска.

изменение угла наклона счетчиков электроэнергии с целью изменения его погрешности измерения.

Электромагнитные способы хищения предполагают умышленное воздействие на приборы внешним магнитным полем, а также создание тока нагрузки, имеющего постоянную или высокочастотную составляющие, инверсную фазу и др. При этом в приборе учета создается тормозящий электромагнитный момент, либо электромагнитное поле обратного вращения (для индукционных счетчиков), ухудшается класс точности прибора, вследствие нарушения циклов намагничивания измерительных ТТ и другие явления, вызывающие недоучет, потребляемой электроэнергии, остановок счетного механизма, или же - реверсивную работу («отмотку») счетного механизма, если в его конструкции отсутствует стопор.

Наиболее простые и распространены следующие способы:

прикладывание к электросчетчику постоянного магнита или специально изготовленного соленоида.

использование автотрансформатора мощностью 150 – 200 Вт с напряжением на вторичной обмотке от 3 до 15 В, регулируемого ступенчато или плавно и включаемого по схеме, показанной на Рис.1 или на Рис.2. Регулировкой выходного напряжения автотрансформатора в токовую обмотку подают ток, больший по величине, чем потребляемый и противоположный ему по направлению. В индукционных счетчиках

электроэнергии при отсутствии специального стопора диск счетного механизма начинает вращаться в обратную сторону.

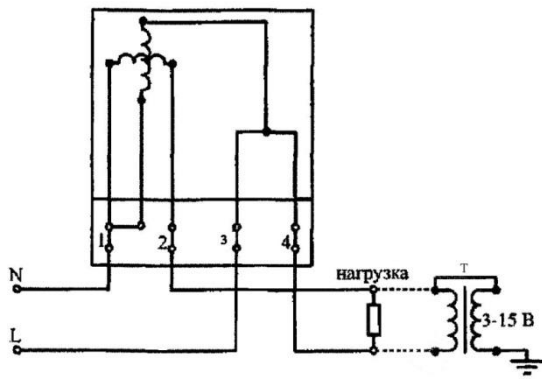


Рисунок 1

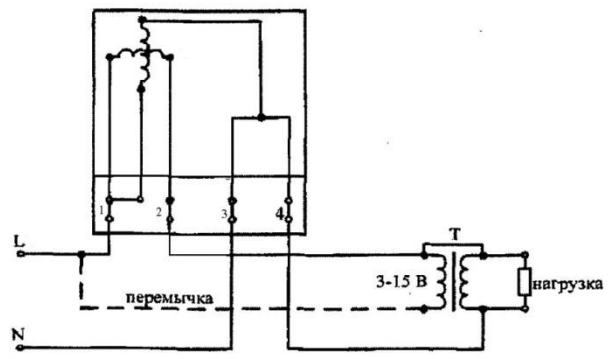


Рисунок 2

подключение к прибору учета специально сконструированных схем, генерирующих высокочастотные гармонические тока и напряжения, например, с использованием заряженного конденсатора, включаемого в противофазу, как показано на рис.3 и др.

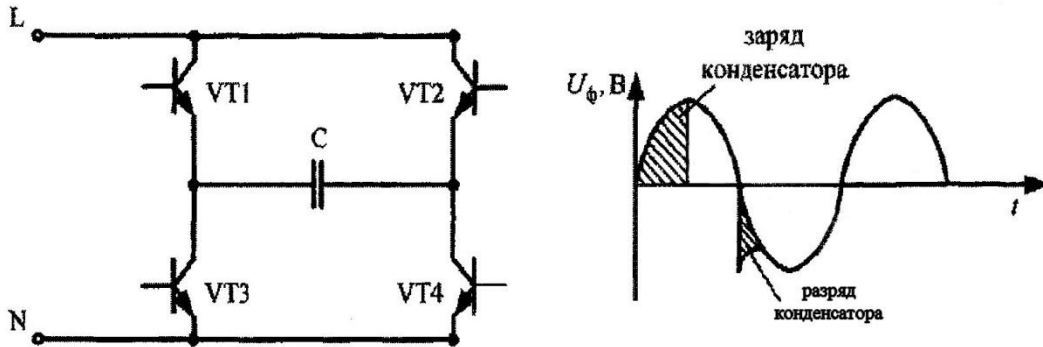


Рисунок 3

Схемные способы хищения электроэнергии предполагают умышленное изменение схемы подключения приборов учета. Одним из самых распространенных вариантов схемного способа хищения электроэнергии является подключение всей нагрузки или основной ее части до (в обход) прибора учета. Относительная легкость реализации данного способа хищения электроэнергии обеспечивается физической доступностью линий электроснабжения для несанкционированного подключения со стороны потребителя. Для того, чтобы работающее электрооборудование не было обнаружено при отключении автоматов защиты нагрузки на приборе учета, это оборудование подключают через скрытно установленный пускатель по схеме, показанной на рис. 4.

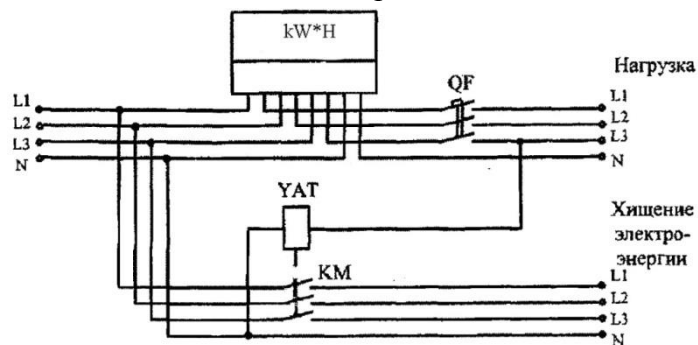


Рисунок 4

Другой вариант включения нагрузки в обход прибора учета предполагает использование вместо нулевого рабочего проводника проводник защитного заземления или любую доступную потребителю заземленную металлическую конструкцию (трубы

водопровода и теплоснабжения, строительные металлоконструкции зданий и др.). Нулевой проводник обламывается без повреждения изоляции до прибора учета или отсоединяется от входных клемм прибора учета, например, на вводном коммутационном аппарате в электрическом щитке (рис. 5). В результате в счетчике создается небаланс токов в фазном и нулевом проводниках, что приводит к не учету электроэнергии, потребляемой нагрузкой, если последнюю включить между фазным проводом и заземленным проводником даже после прибора учета.

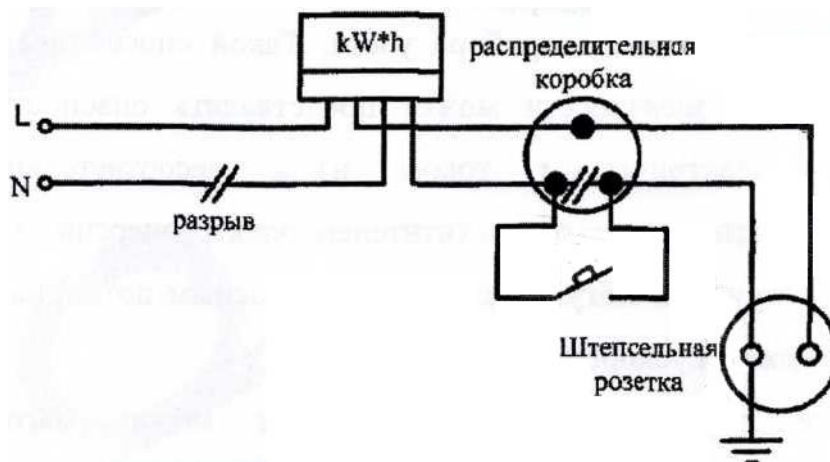


Рисунок 5

Также может быть произведена переполюсовка фазы и нуля на контактах коммутационного аппарата (доступного потребителю во многих случаях), находящегося до счетчика электроэнергии, с последующим заземлением нулевого проводника на стороне нагрузки, либо с использованием любой заземленной металлоконструкции согласно схеме, показанной на рис. 6. Во многих электросчетчиках учет электроэнергии возможен только при условии его правильного включения, поэтому в такой схеме электроэнергия будет потребляться безучетно.

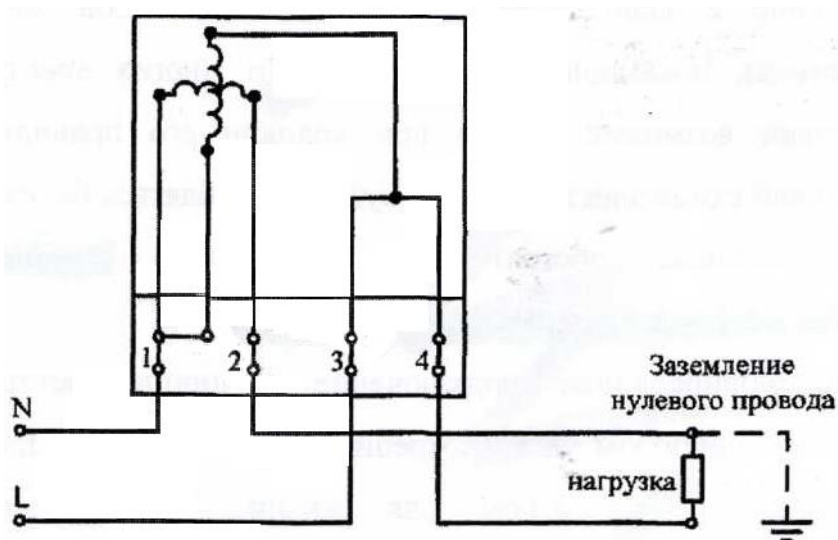


Рисунок 6

Изменение схем коммутации приборов учета, как правило, связано с механическим вмешательством в конструкционные элементы, опломбированные энергосбытовой организацией. Тем не менее, в силу несовершенства механизма пломбировки, имеются возможности доступа под закрытые пломбируемые конструктивы. Наиболее распространенным вариантом изменения схемы коммутации прибора учета в бытовом и мелкомоторном секторе является шунтирование токовой обмотки счетчика электроэнергии (рис. 7).

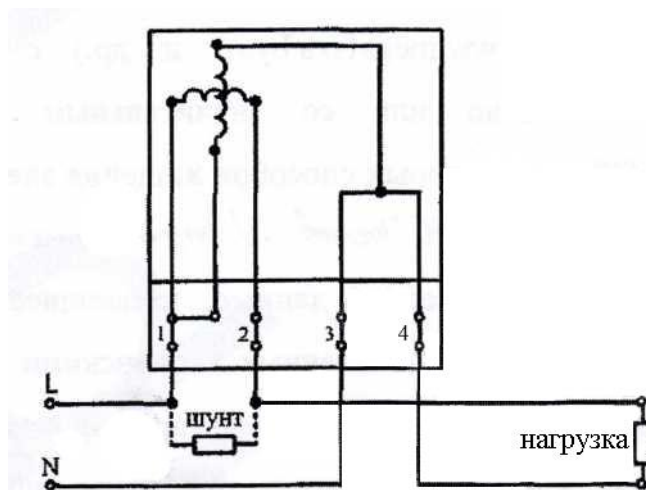


Рисунок 7

Для этого под опломбированную крышку, закрывающую клеммы счетчика, вводится токопроводящий щуп (в качестве которого может быть использована длинная монтажная отвертка), до плотного контакта с клеммой начала токовой обмотки. К щупу одним концом подключен проводник, другой конец которого подключается, например, к фазной клемме автомата нагрузки, установленного после электросчетчика. Таким образом, шунтируются клеммы начала и конца токовой обмотки, в результате чего ток нагрузки протекает мимо цепей учета. Этот вариант легко применим, когда крышка клемного отсека счетчика не плотно прилегает к корпусу, а длина пломбирочной нити позволяет проделать вышеописанные манипуляции без ее обрыва. Если энергосбытовой организацией проводится контрольная проверка, шунт заблаговременно удаляется. Обнаружить несанкционированное вмешательство такого рода практически невозможно, т.к. пломба на крышке клемного отсека остается целая.

Другие варианты изменения схемы коммутации цепей учета предполагают собой смену полярности включения обмоток, порядка их включения, подключение дополнительных элементов (например, конденсаторов), отключение цепей напряжения и др. с целью создания отрицательного, нулевого или пониженного вращающего момента (для индукционных счетчиков электроэнергии), однако при этом сохранить целостность пломбирочки, как правило, не удается.

Как отмечалось ранее, наиболее популярным способом хищения электроэнергии являются всевозможные воздействия на счетчики, это объясняется доступностью отсчетного устройства для манипуляций (чаще всего счетчик стоит в квартире или частном доме), также несовершенством конструкции счётчиков старого образца.

Пик случаев хищения электроэнергии пришелся на период с 1999-2000 г. Тогда было ежегодно выявлено примерно 130-143 млн. кВт·ч неучтенной электроэнергии. В 2013 году данный показатель равнялся 110 млн. кВт·ч. Рост хищений имеет прямую связь с ростом тарифов на электроэнергию. Для снижения объема хищений по республике проводится совершенствование приборных учетов, выполняются технические мероприятия, которые ограничивают возможности хищения энергии:

замена голых провод на изолированные в населенных пунктах – невозможно сделать наброс на провода;

практикуется выносной учет электроэнергии, когда счетчик выносится за пределы индивидуального жилого дома;

установка современных электронных приборов учета, которые высоко защищены от вмешательства извне и практически предотвращают хищение энергии.

На базе электронных приборов учета создаются автоматизированные системы контроля учета электропотребления, они позволяют сводить баланс электрической энергии как по конкретному объекту, например жилому дому, так и по району электрических сетей либо

всей республике в целом. Однако стоит заметить, что замена счетчиков достаточно затратное мероприятие. При строительстве новых объектов туда по умолчанию ставятся счетчики нового образца, а вот существующий жилой фонд обладает счетчиками старого образца, которые необходимо заменить. Всего приборный парк на 2014 год составлял около 5 млн. счетчиков электрической энергии, среди которых свыше 2,5 млн. штук – это индукционные счетчики с классом точности 2,5. В 2013 году было заменено 20666 индукционных счетчиков, в 2014 эта цифра стремилась к 70 000. Однако путем математических подсчетов можно заметить, что на полную замену всех счетчиков в стране при таких темпах понадобится около 35 лет. Установка электронных счетчиков электроэнергии позволит свести к минимуму возможность ее без учётного потребления.

В настоящее время статьей 20.10 Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях установлена ответственность за самовольное подключение приемников электрической или тепловой энергии, либо безучетное потребление такой энергии, либо повреждение расчетных приборов учета расхода такой энергии или нарушение схем их подключения, либо самовольный забор сетевой воды из систем теплоснабжения, а равно иные нарушения правил пользования электрической или тепловой энергией в виде штрафа в 5-кратном размере суммы причиненного ущерба.



# СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

---

## ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП В ОСВЕЩЕНИИ

Яковчик Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

### НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Бакун Т.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Анищенко В.А.

### БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журавлёв Е.Д., Михнёнок В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

### НОВОВВЕДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

### ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Русак Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

### ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСШУМНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ВЕТРОТУРБИН В БЕЛАРУСИ

Ануфриев М. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М. М.

### УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Власенко Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

### ЭФФЕКТЫ СОЕДИНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Власенко Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Лавринович А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

### НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А.Ю., Михайлова Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В.Н.

**ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ МГ12**

Никитин С.С.

Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

**АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Булка Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

**КОНТРОЛЬ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Самиев Ф.Х.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

**РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Павлович Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

УДК 621.3

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП В ОСВЕЩЕНИИ

Яковчик Е.В.

Научный руководитель – к.т.н, доцент Козловская В.Б.

Промышленное освещение – важная часть технологического процесса многих предприятий. Правильно подобранная освещённость и спектр света улучшают различаемость предметов и сказывается на росте производительности труда, снижает производственный травматизм. Таким образом, остаётся актуальным поиск оптимальных решений в освещении промышленных помещений.

В современных осветительных установках, используемых в производственных помещениях, в качестве источника света применяют газоразрядные лампы высокого и низкого давления, светодиодные, а также индукционные. Следует отметить, что светодиодное освещение пока ещё не имеет широкого применения ввиду сложности обоснования расхода целевых средств. В настоящее время в ряде стран в промышленном освещении получают распространение индукционные лампы (ИЛ). Лампы данного типа обладают хорошими показателями и на данный момент являются одними из перспективных источников света. Рассмотрим некоторые характеристики ИЛ:

- в электронную пускорегулирующую аппаратуру (ЭПРА) встроена защита от скачков напряжения и коротких замыканий;
- срок службы может составлять свыше 100000 ч и определяется компонентами электронного балласта и скоростью старения люминофора;
- диапазон единичной мощности от 15 до 300 Вт. Изделия большей мощности – это индивидуальные заказы большого объёма поставки на стратегические объекты;
- индекс цветопередачи  $R_a > 80$ , это обеспечивает более точное восприятие оттенков цветов;
- диапазон цветовых температур от тёплого белого до дневного света (2700 – 6500 К).
- световая отдача около 80 лм/Вт. Новые стойкие люминофоры позволили повысить светоотдачу лампы до 3 раз по сравнению с обычным люминофором и уменьшить её габариты.

Кроме того, лампа характеризуется мгновенным включением/выключением и неограниченным количеством циклов включения/выключения, что позволяет построить системы освещения с применением датчиков движения. Работа датчика движения может совмещаться с работой датчика уровня освещённости. Большая продолжительность горения сокращает такие эксплуатационные расходы как стоимость закупки и хранения традиционных ламп. Затраты определяются стоимостью покупки, доставки, монтажа и демонтажа. Стоимость утилизации не так заметна благодаря длительному сроку службы.

Основным недостатком ИЛ является их высокая стоимость. Также, при низкой температуре окружающей среды, потребуется некоторое время, чтобы лампа вышла на номинальные характеристики. ИЛ – это новация в освещении, и на данный момент отсутствуют нормы и правила их выбора, хранения, утилизации.

Обоснование экономического эффекта лучше рассматривать на конкретной ситуации. В работе приводится результат расчёта эффективности использования светодиодных светильников, светильников с лампами высокого и низкого давления, индукционными лампами в помещении размером  $78 \times 18 \times 10$  м (табл. 1). Проекты разрабатывались с условием обеспечения освещённости рабочей поверхности 400 лк. Значения срока окупаемости указаны на рис. 1.

Таблица 1 – Технико-экономическое обоснование вариантов освещения

	Освещение люминесцентными лампами	Освещение индукционным и лампами	Светодиодное освещение	Освещение лампами высокого давления
N, светильников	44	48	44	48
P, потребляемая мощность светильника, кВт	0,34	0,254	0,20	0,30
Суммарная мощность, кВт	14,96	12,19	8,8	14,16
Расход ЭЭ за год, кВт·ч	64,627	52,669	38,016	61,171
Δ в потреблении ЭЭ, %	22,7	–	-27,82	16,14
Срок окупаемости, мес	32,5	–	7,8	43,6

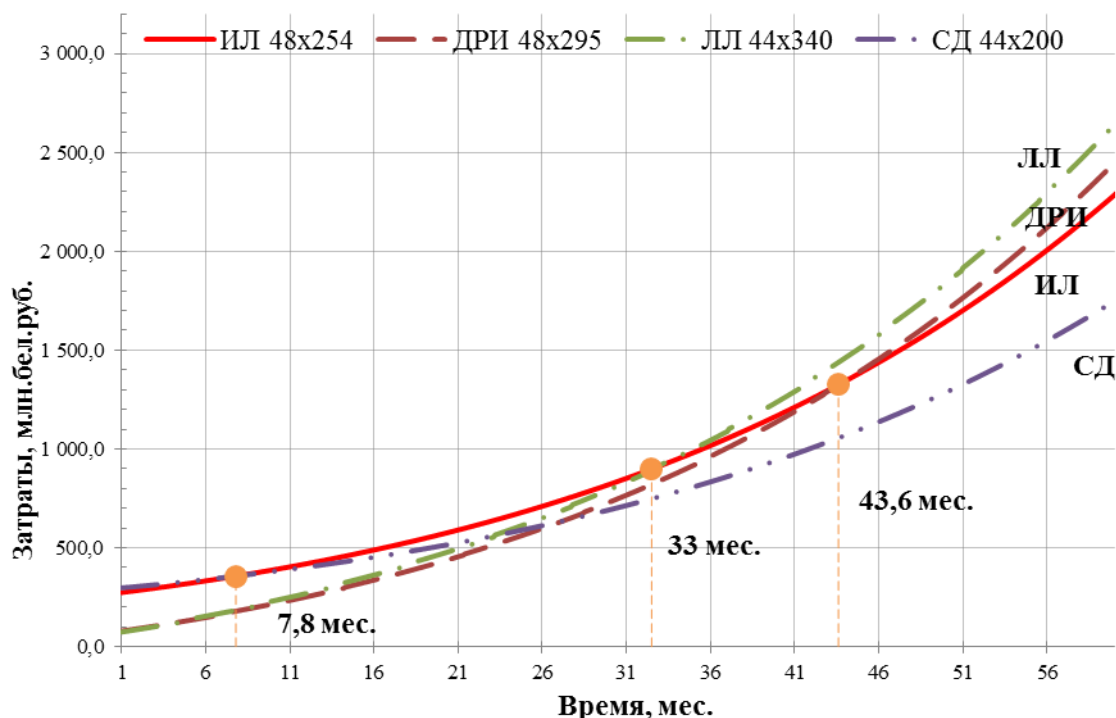


Рисунок 1 – Срок окупаемости ИС

Учитывая характеристики ИЛ, снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание, можно утверждать, что индукционные лампы хорошо подходят для промышленного освещения.

#### Литература

1. Дуговым источникам света 200 лет: учебное пособие / Г.Н. Рохлин. М: ВИГМА, 2001. – 72 стр.
2. Современные проблемы энергоэффективного освещения / Ю.Б. Айзенберг // Энергосбережение. - 2009. - № 1. - С. 42 - 47.
3. Стратегии исследований в области безопасности освещения / О.Р. Бокова, О.А. Гизингер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2012. - Вып. 18. - № 37(296). - С. 26-29.
4. Ультрафиолетовое излучение / А. Мейер, Э. Зейтц. - М.: Наука, 1982. - 63 с.
5. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацкевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.

УДК 620.004.5

## НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Бакун Т.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Анищенко В.А.

Одной из важных характеристик, учитываемых при проектировании, разработке и эксплуатации систем, является надежность. Надёжность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Стоимость отказов, потери продукции, несчастные случаи, снижение производительности обходятся значительно дороже, чем стоимость ремонта. Поэтому во избежание миллионных потерь производится систематический подход к моделированию надежности проектируемых систем.

Очевидна необходимость фактического обеспечения высокой надежности самолета, космического корабля, подвесной канатной дороги или парашюта. Интенсивное развитие данных сфер деятельности человека привело к необходимости количественной оценки надежности. Такие показатели можно задавать, анализировать, измерять как конструктивный параметр. Особенно количественная характеристика стала необходима в настоящее время в связи с возрастанием сложности систем и их масштабов.

Работоспособность устройств, системы определяется совокупностью заданных параметров, характеристик и допустимыми пределами их изменений – допусками. Если изменяемый во времени параметр будет выходить за допустимые границы изменений, а его допуски будут превосходить установленные значения, наступает повреждение или отказ.

Отказы, возникающие в условиях эксплуатации, можно разделить на:

–полные и частичные (при частичных отказах электротехническое устройство теряет частично свою работоспособность);

–внезапные и постепенные (постепенные отказы характеризуются постепенным изменением и выходом за заданную границу одного или нескольких параметров; при внезапных отказах изменение параметра протекает с большой скоростью);

–независимые и зависимые (зависимые отказы зависят от отказов других устройств);

–устойчивые и неустойчивые (сбои – самоустраняющиеся отказы, приводящие к кратковременному нарушению работоспособности).

В электрооборудовании, функционирующем не постоянно во времени, отказы могут быть следующих видов:

–отказ срабатывания;

–ложное срабатывание.

Ложные срабатывания – это отказ объекта, работающего в сложном режиме, приводящий к включению его в работу при отсутствии требования на включение. Ложные срабатывания характерны как для быстродействующих, так и длительнодействующих управляющих систем, а также оборудования, выполняющего функции управления. Подобные срабатывания могут привести к неоправданным трудозатратам и расходу материальных ресурсов, отключению электроприемников, перебой электроснабжения которых может привести к ситуациям, опасным для потребителей (отключение пожарной сигнализации и т.п.).

Как следует из определения, ложные срабатывания устройств могут происходить по разным причинам, не имеющим отношения к надежности устройства. Часть внешних причин обусловлена воздействием на устройство электромагнитных помех, на которые оно реагирует так, как если бы было сформировано требование на срабатывание. Для исключения таких причин ложных срабатываний, устройства должны отвечать определенным требованиям по электромагнитной совместимости. Ложное срабатывание

также может быть спровоцировано некачественным монтажом и условиями окружающей среды. Рассмотренные внешние причины нельзя отнести к характеристикам надежности устройства.

Для характеристики надежности устройства целесообразно рассматривать только те ложные срабатывания, которые вызваны внутренними причинами, когда отказ того или иного элемента устройства приводит к срабатыванию устройства таким образом, как оно сработало бы при наличии требования на срабатывание.

Повышение надежности систем без изменения надежности отдельных элементов производится структурным резервированием. В случае релейно-контактных систем резервирование может, как повысить, так и понизить их надежность. Это зависит от преобладающего типа отказов и числа элементов, а также от топологии системы.

Рассмотрим влияние количества элементов ( $n$ ) на надежность системы в целом. При рассмотрении отдельно будем учитывать влияние отказов двух типов: замыкание цепи и обрыв цепи, и влияние ложных срабатываний также двух типов: ошибочное включение при отсутствии команды на сигнал и ошибочное отключение при наличии управляющей команды.

Для определения показателей надежности используется биномиальное разложение Ньютона (рассматриваются идентичные элементы):

$$(p + q_o + q_s + r_s + r_o)^n = 1,$$

где  $p$  – вероятность исправной работы элемента;

$q_o$  – вероятность отказа типа «обрыв» при подаче требования на замыкание контактов элемента;

$q_s$  – вероятность отказа типа «замыкание» при подаче требования на размыкание контактов элемента;

$r_s$  – вероятность самопроизвольного замыкания контактов элемента при отсутствии требования на срабатывание;

$r_o$  – вероятность самопроизвольного размыкания контактов элемента при отсутствии требования на срабатывание;

$n$  – количество элементов в устройстве.

Для устройства в целом имеем соответствующие нормируемые показатели надежности, удовлетворяющие условию:

$$P + Q_o + Q_s + R_s + R_o = 1.$$

При параллельном соединении элементов имеем:

$$P = (1 - q_s)^n + (1 - r_s)^n - q_o^n - r_o^n - 1; \quad Q_o = q_o^n; \quad Q_s = 1 - (1 - q_s)^n; \\ R_o = r_o^n; \quad R_s = 1 - (1 - r_s)^n; \quad Q_\Sigma = 1 - P.$$

При последовательном соединении имеем:

$$P = (1 - q_o)^n + (1 - r_o)^n - q_s^n - r_s^n - 1; \quad Q_s = q_s^n; \quad Q_o = 1 - (1 - q_o)^n; \\ R_s = r_s^n; \quad R_o = 1 - (1 - r_o)^n; \quad Q_\Sigma = 1 - P.$$

Параллельное резервирование снижает вероятности отказа типа «обрыв» и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы, но повышает вероятности отказов типа «замыкание» и самопроизвольного замыкания системы. При последовательном соединении элементов вероятности отказа типа «обрыв» и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы увеличиваются, а вероятности отказов типа «замыкание» и самопроизвольного замыкания системы уменьшаются.

Построим графики зависимостей надежности показателей от количества идентичных элементов от одного до четырех при следующих значениях:

- для параллельного соединения:

$$p = 0,98; \quad q_o = 0,006; \quad q_s = 0,004; \quad r_s = 0,005 \quad r_o = 0,005.$$

- для последовательного соединения:

$$p = 0,98; \quad q_o = 0,004; \quad q_s = 0,006; \quad r_s = 0,005 \quad r_o = 0,005.$$

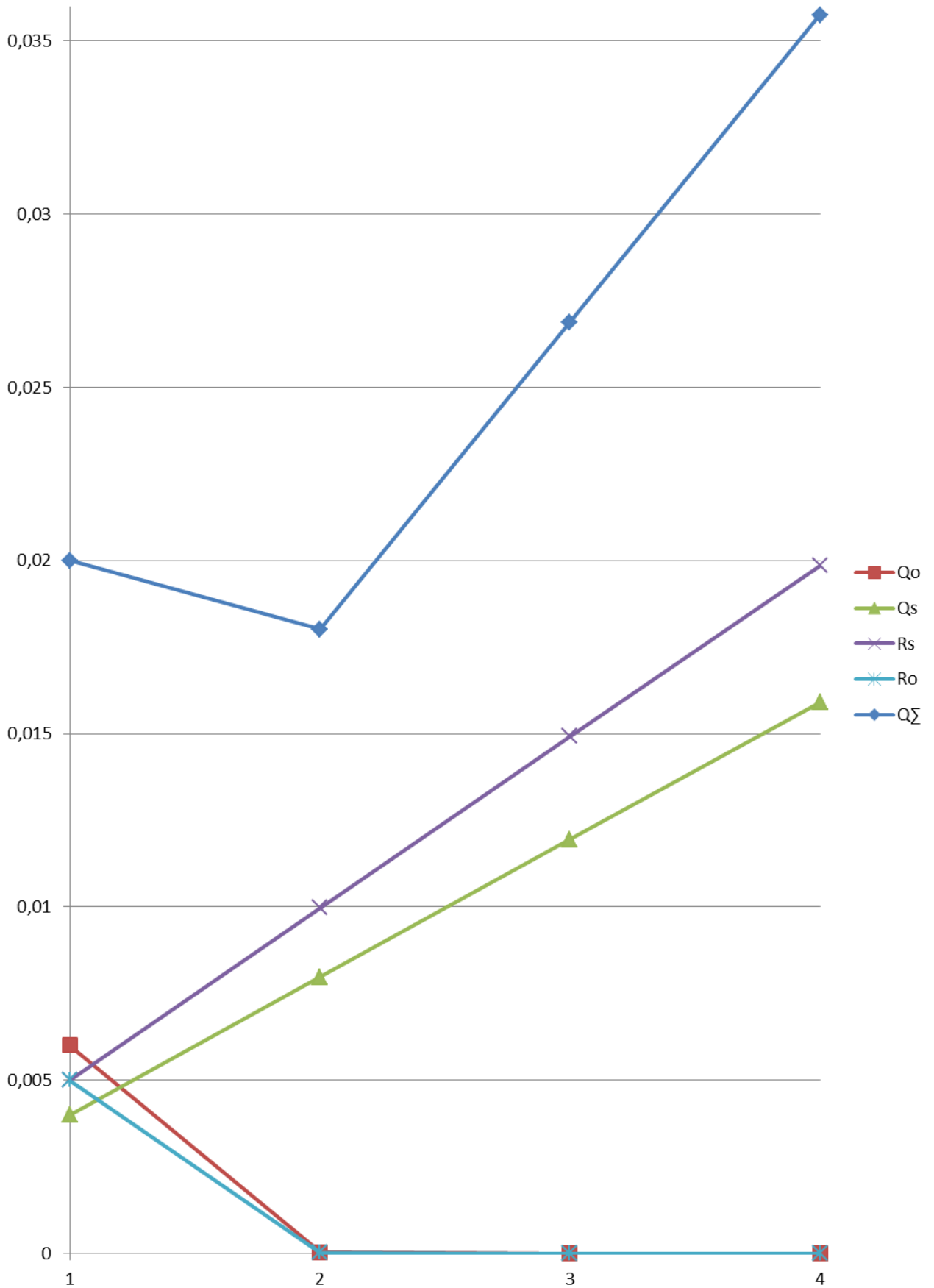


Рисунок 1 – Графики зависимости  $Q_o(n)$ ,  $Q_s(n)$ ,  $R_s(n)$ ,  $R_o(n)$  и  $Q_\Sigma(n)$  для параллельного соединения элементов

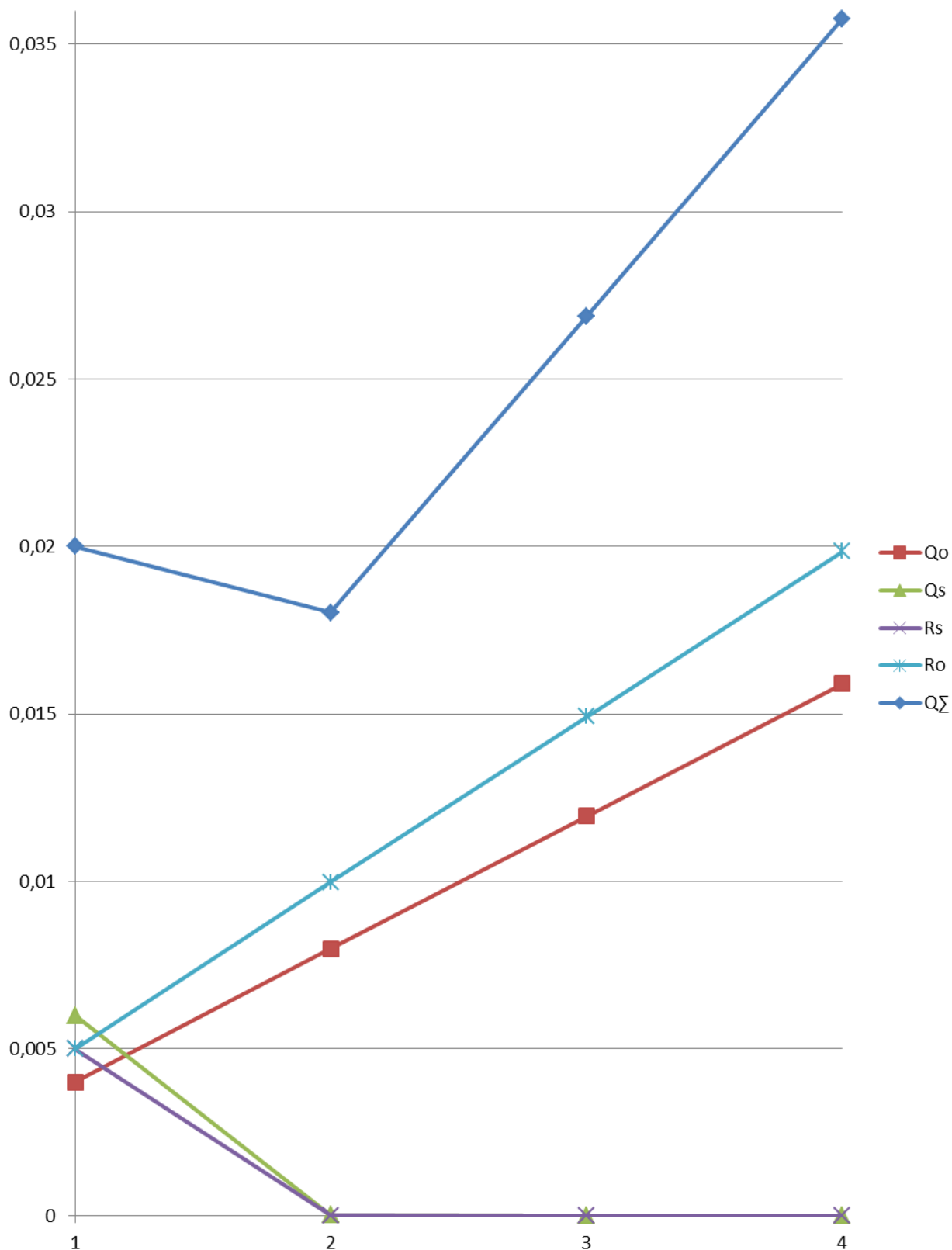


Рисунок 2 – Графики зависимости  $Q_o(n)$ ,  $Q_s(n)$ ,  $R_s(n)$ ,  $R_o(n)$  и  $Q_\Sigma(n)$  для последовательного соединения элементов

#### Литература:

1. Диллон, Б.С. Инженерные методы обеспечения надежности систем: пер.с англ. / Б. Диллон, Ч.Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с., ил.



УДК 620.9

## БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журавлёв Е.Д., Михнёнок В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Биогаз – это газ, состоящий из примерно из 50-80% метана и 50-20% углекислого газа. Биогаз близок по своим характеристикам к природному газу. Калорийность биогаза от 6000 до 9500 ккал/м<sup>3</sup>, при средней калорийности природного газа 7900 ккал/м<sup>3</sup>. Его можно использовать для обогрева помещений, технологических целей, получения пара, для получения электроэнергии. Выгоднее всего использовать когенерационные установки, для одновременного производства тепловой и электрической энергии. Газ можно использовать как топливо для автомобилей, но для этого потребуется установка дополнительной системы обогащения биогаза.

На рассмотрение берём небольшое фермерское хозяйство с площадью для выращивания сырья для БГУ равную 70 Га. поголовье свиней – 800, а КРС - 600. При расчётах мы получаем примерно 10 т/сутки навоза свиного с влажностью 85%, и 30 т/сутки навоза от КРС. Также 5 т/сутки картофельной мезги с влажностью 91%. По этим данным рассчитаем полезные и технические характеристики нашей установки.

Общие технические характеристики:

- 1) Длина модуля конструкции, м – 12
- 2) Количество модулей, шт – 4
- 3) Полезный объём биореактора, м<sup>3</sup> – 756
- 4) Диаметр модуля биореактора, м – 4,5
- 5) Длина конструкции биореактора, м – 8
- 6) Технологический процесс брожения - непрерывный
- 7) Производительность биореактора, тонн навоза/сутки – 45
- 8) Время брожения, суток – 5-18
- 9) Производительность по биогазу до, м<sup>3</sup>/сутки – 2620
- 10) Эквивалент по возможной вырабатываемой электроэнергии до, кВт\*час – 262
- 11) Количество дополнительной вырабатываемой тепловой энергии до, кВт\*час – 306
- 12) Количество вырабатываемой только тепловой энергии до, кВт\*час – 677
- 13) Потребляемая энергия для начального нагрева, кВт\*час – 630
- 14) Способ нагрева трубчатые теплообменники
- 15) Режим брожения мезофильный-термофильный
- 16) Мешалка-миксер, шт – 1
- 17) Насос измельчитель 1 шт., мощность, кВт – 14.7
- 18) Избыточное давление биогаза 2кПа. (200 мм. вод. ст.)
- 19) Температура брожения в мезофильной секции 30-40 С
- 20) Температура брожения в термофильной секции 45-57 С
- 21) Мягкий газгольдер, объём, м<sup>3</sup> – 1091,67
- 22) Количество жидких удобрений на выходе, тонн/сутки – 59
- 23) Период перемешивания 4 раза в сутки по 10 минут

Принцип работы биореактора следующий: в приемную емкость (Поз.1) производится загрузка сырья, все делается в соответствии с датчиком уровня. Далее загруженное сырье подвергается тщательному перемешиванию и смешиванию с порциями воды для достижения необходимой консистенции. Как правило, вода добавляется из расчета 1/3, после чего открывается вентиль в следующий отсек и включается перемешивающий насос измельчитель, который позволяет добиться необходимой степени измельченности сырья. Далее, при достижении нужного состояния, в противоположном конце открывается

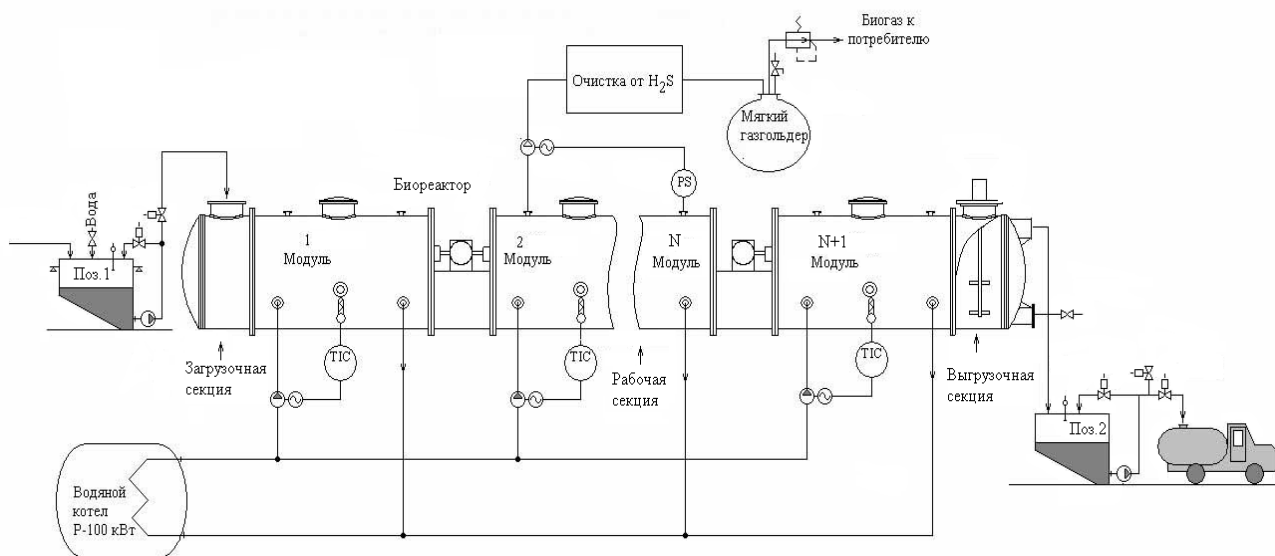
выгрузочный люк и происходит постепенная перегрузка сырья в биореактор, при этом насос не останавливается. После полного опорожнения приемной емкости насос выключается автоматически.

Биореактор представляет собой трубчатую пластиковую или стальную емкость, расположенную горизонтально. Разделение на три части биореактора позволяет выделить перевалочные и рабочие зоны: загрузочную, собственно рабочую и выгрузочную. Рабочая секция состоит из  $N$  модулей ( $N$  – количество модулей). Количество модулей может наращиваться в любое время при расширении производства. В верхней части рабочей секции расположен герметично закрывающийся люк, а также два штуцера: для отбора газа и для подключения тягонапоромера с релейным выходом.

Тягонапоромер позволяет следить за уровнем давления газа в биореакторе и при достижении определенных величин автоматически включает и выключает компрессор, который откачивает выделившийся газ в газгольдер. В каждом модуле есть трубчатый теплообменник, он позволяет контролировать температуру биомассы и поддерживать ее на необходимом уровне. Также внутри смонтированы особые перемешивающие устройства, что позволяет биомассе быть в движении и предотвращает образование плавающей корки.

После того, как масса достаточно перебродит, приходит очередь выгрузить ее через выгрузочный сектор в емкость-накопитель жидких удобрений (Поз.2), в нижней части которой находится насос, используемый как для перемешивания биомассы, так и для ее откачки. Биогаз же из газгольдера по редуцирующим клапанам поступает к потребителю.

Весь технологический процесс автоматизирован и контролируется диспетчером с персонального компьютера.



Произведём оценку стоимости нашего проекта в млн.бел.руб, предварительно обозначим, какое оборудование будет использоваться в нашей БГУ и где оно произведено.

Секции биореактора производим на предприятии СЗАО «ЛИПЛАСТ-СПб, которое располагается в Лиде, это заметно снизит стоимость реактора по сравнению с российскими аналогами. Измельчитель произведем на Белорусско-Итальянском совместном предприятии ООО «Унибокс». Мягкий газгольдер - произведём на ЗАО «БЕЛНЭТЭКСПЕРТ», Минск. Мешалки-миксеры, электрически двигатели с редукторами, компрессоры вакуумные, регулируемую арматуру заказываем на заводе ООО «ЭСКО» в г. Могилев. Шкаф управления с визуализацией и элементы КИПиА заказываем на заводе ОДО «МИКСМАРТАЛЬЯНС» в г. Могилёве. А силовой шкаф на ОАО «Минский электротехнический завод им. В. И. Козлова». Станцию когенерации АГП-100, центробежный насос с измельчителем, станцию очистки  $H_2S$  и влагоотделитель, клапана,

регуляторы, преобразователи заказываем из РФ. Таким образом, практически всё оборудование произведено на территории РБ. В табл.1 и табл.2 приведены сами цифры.

Таблица.1

1 Биореактор				
Секция биореактора из стеклопластика с технологическими отверстиями	шт.	4	430.54	1722.16
Обвязка	шт.	1	448.25	448.25
Насос измельчитель	шт.	1	24.77	24.77
Центробежный насос с измельчителем	шт.	1	14.43	14.43
Резервуар для предварительного подогрева	шт.	2	177.88	355.76
Обвязка	шт.	1	68.33	68.33
Станция очистки H <sub>2</sub> S	шт.	1	56.6	56.6
Влагоотделитель	шт.	1	56.6	56.6
Мягкий газгольдер	шт.	1	557.95	557.95
Мешалка-миксер	шт.	4	19.81	79.24
Эл. двигатель с редуктором	шт.	4	7.92	31.68
Клапана, регуляторы, преобразователи	компл.	4	13.3	53.2
Регулирующая арматура	шт.	4	11.89	47.56
Компрессор вакуумный	шт.	2	44.37	88.74
Расходные материалы	компл.	1	135.09	135.09
Элементы КИПиА	компл.	1	75.65	75.65
Шкаф управления, с визуализацией на диспетчерский пункт	шт.	2	39.62	79.24
Шкаф силовой	компл.	1	29.72	29.72
Монтаж системы "подключ"		30%	3924.97	1177.09
Пуско-наладочные работы		5%	3924.97	196.25

Продолжение Таблица.1

Всего по разделу 1, с НДС		5298.31
Срок окупаемости по газу (из расчета руб/м <sup>3</sup> ),лет	1000	5.3

Таблица.2

2 Здания и сооружения				
Быстровозводимое здание под биогазовую установку, высота 6 м	м <sup>2</sup>	266	2.9	772.58
3 Станция когенерации АГП-100	шт.	3	492.45	1477.35

Итого общая стоимость внедрения биогазовой установки, с НДС, составит 7548.24 (528.25) млн. рублей (тыс. \$).

При сравнении данной биогазовой установки с биогазовой установкой близкой мощности российского производства, мы получили, что удельное капиталовложение нашей БГУ (2016 \$/кВт) на 18% меньше чем у российского аналога (2472 \$/кВт). При этом 82% от всех средств, вложенных в установку, идут белорусским предприятиям, то есть большая часть денег остаётся в стране. Это является огромным плюсом для экономики в настоящее время.

#### Литература

1. Технический кодекс установившейся практики. ТКП 17.02-05-2011 (02120)
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчёта экономической эффективности биогазовых комплексов.
3. Эдер Барбара, Шульц Хайнц Биогазовые установки. Практическое пособие. (Пер. с нем. Zorg Biogas в 2011 году). Под ред. И. А. Реддих.
4. <http://www.rosbiogas.ru/>
5. <http://mkp.easc.org.by/>
6. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии. Под ред. Специальное агентство возобновляемых ресурсов.

УДК 620.9

## НОВОВВЕДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ВЭУ (ветроэнергоустановка) – энергоустановка, преобразующая кинетическую энергию ветра в электроэнергию. Основные составные части любой ВЭУ – ветроколесо, которое приводит в движение ротор ЭГ (электрогенератора), и сам ЭГ. Ветрогенераторы работают при скорости ветра от 3 до 25 м/с, т.к. при скорости ветра меньше 3 м/с электроэнергии, вырабатываемой генератором, не хватает на покрытие потерь электроэнергии. При скорости ветра более 25 м/с могут возникнуть сильные повреждения ветроэнергоустановки, следственно они отключаются (ветроколесо затормаживается, генератор отключается от сети). Срок службы ВЭУ – от 15 до 25 лет, при этом срок окупаемости – от 5 до 7 лет, что делает их применение выгодным с экономической точки зрения.

Недостатком ВЭУ является малая частота вращения, что приводит к увеличению размеров генератора для выработки промышленной частоты. Существует 2 способа получения промышленной частоты с помощью ветрогенератора: применение редуктора и подключение ВЭУ к энергосистеме через СПЧ (статический преобразователь частоты). Недостатками редуктора являются: трудности при эксплуатации, а именно необходимость менять масло каждый сезон, большая масса, большие габариты, снижение надежности всей установки. При подключении ветрогенератора в сеть через СПЧ также нет необходимости проводить синхронизацию СГ (синхронного генератора), что является несомненным преимуществом такого подключения. Однако частотный преобразователь имеет очень высокую стоимость. Но, несмотря на это ввиду его преимуществ перед редуктором подключение через СПЧ является более выгодным.

В ветроустановках в качестве генератора могут применяться синхронные и асинхронные машины. Самым простым и надежным является синхронный генератор с возбуждением постоянными магнитами. В таких генераторах отсутствует классическая система возбуждения, то есть отсутствует машина постоянного тока, а, следовательно, в электромагнитной цепи генератора отсутствуют такие ненадежные элементы, как контактные кольца, щетки и щеткодержатели, что повышает надежность машины.

Кроме того, что данная конструкция проще и надежнее альтернативных из-за отсутствия возбудителя, она позволяет выполнить обмотку статора без укорочения шага, что, в свою очередь, опять упрощает конструкцию СГ. Подавление высших гармоник в такой обмотке возможно чисто геометрически за счет выполнения пазов статора скошенными на  $2/7$  полюсного деления, а постоянных магнитов на роторе сдвинутыми друг относительно друга на  $1/5$  полюсного деления [1]. Это позволяет полностью подавить 5 и 7 гармоники. Обмоточный коэффициент считается через коэффициенты скоса и сдвига.

$$k_{сдв} = \cos\left(\frac{V \cdot \gamma_1}{2}\right)$$

$$k_{ск} = \cos\left(\frac{V \cdot \gamma_2}{4}\right)$$

$$k_{обм} = k_{ск} \cdot k_{сдв} = \cos\left(\frac{V \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{V \cdot \gamma_2}{4}\right)$$

где:

$\nu$  – номер гармоники

$\gamma_1$  – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

$\gamma_2/2$  – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате скоса

ЭДС  $\nu$ -ой гармоники равна:

$$E_{\nu}' = E_{\nu} \cdot k_{обм} = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right) = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 180\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu}{4} \cdot \frac{2}{7} \cdot 180\right)$$

Очевидно, что ЭДС 5 и 7 гармоники подавлены полностью. ЭДС более высоких гармоник подавлены частично, следственно их влияние не существенно.

Для работы такого генератора необходимы мощные постоянные магниты. Подходящими являются магниты NdFeB (Неодим-железо-бор). Магниты из этого материала обладают большой остаточной индукцией (1,1 Тл) и коэрцитивной силой (800000 А/м).

Расчет постоянного магнита выполняется на основании графика кривой размагничивания постоянного магнита в относительных единицах, где по оси ординат отложена индукция  $\frac{B}{B_r}$ , а по оси абсцисс напряженность магнитного поля в магните  $\frac{H}{H_C}$ , где  $B_r$  и  $H_C$  - остаточная индукция и коэрцитивная сила магнита. Кривая размагничивания редкоземельного магнита – это прямая линия.

Координаты рабочей точки на кривой размагничивания постоянного магнита определяются на основании отношения ординаты к абсциссе, которое равно:

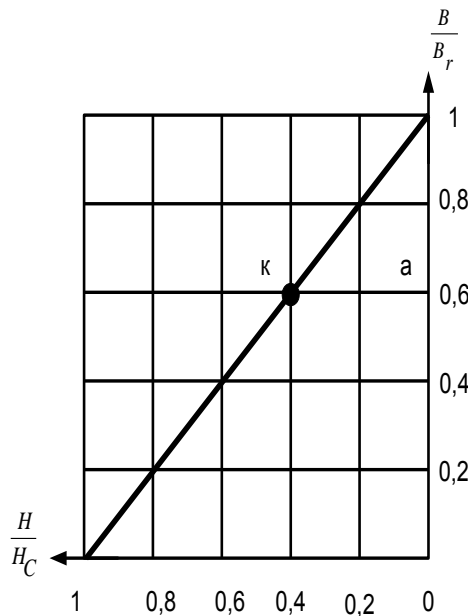


Рисунок1: Кривая размагничивания постоянного магнита

$$\frac{oa}{ak} = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\Phi_{МАГН \max} \cdot F_{МАГН}} = \frac{2 \mu_0 \cdot \sigma \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\pi \cdot k \cdot \mu_0 \cdot B_r \cdot S_{МАГН} \cdot F_{ВН} \cdot \delta}$$

где ордината кривой размагничивания  $oa$  равна отношению основного магнитного потока машины к максимальному возможному потоку в нейтральном сечении магнита при отсутствии размагничивания

$$oa = \frac{\Phi_a \cdot \sigma}{\Phi_{МАГН \max}} = \frac{2 \cdot B_{\delta} H \tau \cdot l_{\delta} \cdot \sigma}{\pi \cdot B_r \cdot S_{МАГН}}$$

а МДС магнита равна МДС магнитной цепи, т.е. равна МДС воздушного зазора с учетом коэффициента насыщения магнитной цепи и размагничивающего действия реакции якоря,

$$F_{МАГН} = ak \cdot H_C \cdot h_{МАГН} = F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0},$$

откуда

$$ak = \frac{F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0}}{H_C \cdot h_{МАГН}}$$

$B_{\delta H}$  - основная гармоника индукции в воздушном зазоре при номинальных условиях,

Тл,

$F_{ВН*}$  - МДС возбуждения с учетом реакции якоря (по диаграмме Потье), о.е.,

$\delta$  - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$  - площадь сечения магнита, м<sup>2</sup>,

$h_{МАГН}$  - высота магнита, м,

$k_{\mu 0}$  - коэффициент насыщения магнитной цепи машины,

$\sigma$  - коэффициент рассеяния полюсов.

Уточненный расчет был сделан для машины 7,5 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности.

Таблица 1 Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, кг	Температура обмотки °С
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	-	7,5	200	85,3	186,5	135
Генератор синхронный трехфазный	ОС 52	8	1500	82	138 - 156	-
Генератор синхронный трехфазный	ЕСС5-61-4	8	1500	84,7	160	-
Асинхронный двигатель с фазным ротором	4АК160М8У3	7,5	750	82	200	-
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	АИР160 S8	7,5	750	87	125	135
Синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор производства КНР	GL-ПМГ-7500	7,5	200	-	180	180

Расчеты показали, что генератор такого типа соизмерим по расходу материалов и другим характеристикам с другими генераторами той же мощности, а некоторые генераторы даже заметно превосходит. Этот факт, в сочетании с простотой конструкции и надежности в эксплуатации, способствует развитию ветроэнергоустановок с возбуждением постоянными магнитами в последние годы.

#### Литература

1. Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами: Патент на изобретение №14108 РБ от 2010.11.25/ Олешкевич В.М., Олешкевич М.М.; заявл. №20081055, 2008.08.08; МКИ, Н 02К 21/00; опубл. //Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай уласнасці Рэспублікі Беларусь. Афіцыйны бюлетэнь: вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры . №1(78) 2011.-с.148
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Минск. БНТУ, 2007.



УДК 621.3

## ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Русак Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Проблема эффективного использования солнечного света – естественного источника энергии – для освещения центральной части зданий глубокого заложения, бесфонарных сооружений и зданий без естественного света является одной из важнейших в современной технике освещения и её успешное решение весьма существенно для реализации программы энергосбережения. Решением данной проблемы является создание эффективных систем совместного искусственного и естественного освещения. При использовании светопроемов не всегда можно достичь требуемого уровня и качества освещенности, также вследствие недостаточной теплоизоляции присутствуют тепловые потери. В отличие от систем с искусственным освещением системы интегрального освещения позволяют получать естественный свет и все связанные с этим преимущества. Введение естественного света в помещение позволяет осуществить связь человека с окружающей средой. Известно, люди, довольные своим окружением, легче настраиваются на выполнение рабочих задач, они меньше отвлекаются и производительность их труда выше. С помощью световодов можно более эффективно использовать солнечный, а также транспортировать и распределять искусственный свет.

В данной работе показана система комбинированного освещения на примере проекта Heliobus. Рассмотрена конструкция, принцип действия, материалы для изготовления осветительной установки. Произведена оценка реализованной системы освещения.

Перед разработчиками стояла задача освещения солнечным и искусственным светом рекреационной зоны, которая располагается на каждом из четырех этажей (три надземных и один заглубленный). Изначально для введения солнечного света на крыше здания был предусмотрен световой колодец размером 1,25x1,25 м и световой фонарь на крыше. Каждая рекреация 5x5 м была освещена 8 лампами накаливания мощностью 75 Вт. При значительном электропотреблении (установленная мощность 2,4 кВт) освещенность была на очень низком уровне 10 – 18 лк. Разработчикам необходимо было без кардинальной реконструкции здания, крупных капиталовложений, без прерывания учебного процесса создать совмещенную систему освещения, обеспечивающую нормативную освещенность и имеющую улучшенные эстетические свойства. Поскольку не требовалось создание высокого уровня освещенности и особой равномерности освещения, конструкция приемного устройства упрощалась.

Конструкция светоприемного устройства выглядит следующим образом. Зеркало приемника и световод выполнены из двух пересекающихся цилиндров с равными диаметрами. Зеркало приемника образовано частью боковой поверхности наклонного цилиндра, ограниченного двумя взаимно перпендикулярными плоскостями. Внутренняя поверхность приемника обращена к югу, а ось наклонного цилиндра, образующего эту поверхность, ориентирована на Солнце в полдень дня летнего солнцестояния, т.е. отклонена к югу на угол по вертикали  $\alpha_0 = 24^\circ$ , учитывая широту местности  $47,5^\circ$ . Такое расположение приемной поверхности позволяет солнечным лучам в момент наивысшей высоты Солнца проникать в световод не касаясь зеркала, а по мере удаления от дня летнего солнцестояния Солнце будет находиться ниже, и всё больший поток будет перехватываться зеркальным отражателем, и направляться в световод. Данный эффект будет наблюдаться вплоть до угла наклона солнечных лучей от вертикали на угол  $\alpha_0 = 48^\circ$ , что соответствует дням равноденствия, отраженные лучи будут направлены вертикально вниз. Стоит отметить, что перехват солнечного света по сравнению с днем летнего солнцестояния будет достигать 80%. После будет происходить снижение роста перехвата потока, а затем и спад. Так как часть отраженных лучей не будет попадать в световод. Стоит отметить, прозрачный защитный

экран, расположенный вертикально будет защищать оптическую поверхность от загрязнения и отводить пыль и грязь.

Между приемным устройством и световодом использовался переходной элемент, который позволил: разместить в себе источники искусственного света, согласовать размеры приемника и входной торец световода, осветить рекреацию верхнего этажа.

В качестве транспортирующего и светораспределяющего элемента системы был выбран призматический световод, работа которого основана на явлении полного внутреннего отражения. Для создания более равномерного светового потока в рекреации первого и второго этажей использовался объемный цилиндрический экстрактор диаметром 200 и 100 мм соответственно. Для уменьшения потерь торцы экстрактора выполнены полыми, а внутренняя поверхность также покрыта микропризматической пленкой. Экстрактор – устройство позволяющее нарушать условие полного внутреннего отражения и способствует выходу солнечных лучей из канала световода.

Принцип работы установки следующий: лучи солнечного света, перехваченные светоприемным устройством направляются через переходное устройство (непосредственно и с помощью зеркально отражающих поверхностей) во входной торец вертикального полого световода, в который, при недостаточном естественном освещении, направляется также излучение искусственных источников. Свет солнца и искусственных источников распространяется внутри и вдоль световода (по отдельности и одновременно), испытывая полное внутреннее отражение. При попадании лучей на экстрактор, они рассеиваются и переотражаются на стенки световода. Для большинства таких лучей условия полного внутреннего отражения нарушаются и они, после преломления на стенках световода выходят наружу в освещаемые помещения на разных этажах здания.

Оценка реализованной системы совмещенного освещения:

- Качественные и количественные характеристики полученной осветительной установки удовлетворяют предъявляемым требованиям при различных режимах работы, как при солнечном освещении, так и совместном использовании солнечного света и работе одной из ламп (в предвечернее время), так и при только искусственном освещении.

- Установка отличается простотой и надежностью конструкции, относительно дешева.

- Потребление электроэнергии резко снижено (установленная мощность уменьшена в 2 раза), а потребление электроэнергии должно снизиться более значительно, благодаря сокращению времени работы искусственного освещения.

- Протяженность электрической сети сведена к минимуму.

- Эксплуатационные расходы также минимальны и определяются только необходимостью замены ламп один раз в 5 - 6 лет (срок службы металлогалогенных ламп 15 тыс. часов при наработке в год 2,5 - 3 тыс. часов).

### Литература

Айзенберг Ю.Б. Система совмещенного освещения школьного здания солнечным и искусственным светом на основе полых световодов//Светотехника. – 1996. – №8. – С. 8-18.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСШУМНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ВЕТРОТУРБИН В БЕЛАРУСИ

Ануфриев М. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М. М.

Использование всех традиционных видов топлива для энергетических целей (нефть, уголь, газ), оказывает серьезное негативное экологическое воздействие. В комплексе энергетика, основанная на использовании традиционных источников топлива, обуславливает значительную долю выбросов в окружающую среду, прежде всего в атмосферу.

В связи с этим чрезвычайно важным является развитие экономики и энергетики в направлении создания экологически чистых технологических процессов и производств. Одним из решений может быть увеличение объема использования возобновляемых источников энергии.

Возобновляемая энергетика является одним из приоритетных направлений развития энергетического комплекса Республики Беларусь. Это обусловлено двумя основными факторами: во-первых, это требование природоохранного характера, значение которого возрастает, как следствие, обязательных с точки зрения законодательства условий, принятых Конвенцией по климату в декабре 1997 г.; во-вторых, это требование в отношении увеличения мощностей выработки энергии, согласно которому отдается предпочтение таким формам производства энергии, которые можно создавать быстрыми темпами и постепенно наращивать.

Из всех отраслей возобновляемой энергетики, ветроэнергетика является одной из наиболее динамично развивающихся. Несмотря на глобальный экономический кризис и снижения стоимости на топливные ресурсы, с каждым годом увеличивается установленная мощность ветроустановок и расширяется география их использования. Технический ветроэнергетический ресурс Республики Беларусь достаточно велик, чтобы игнорировать его возможности в ликвидации прогнозируемого в ближайшем будущем дефицита традиционных источников энергии. Мощные ветроэлектростанции по рекомендациям Ветроэнергетического кадастра Беларуси целесообразно возводить в точках, определенных Ветроэнергетическим атласом по региональным признакам. Это холмы, продуваемые долины рек, прибрежные зоны крупных водных объектов (Заславское и Вилейское водохранилище, озеро Нарочь и пр.).

Однако возведение отдельной ветроустановки или ветропарка всегда связано с определенными проблемами, главной из которых является выбор места предполагаемого строительства. Помимо достаточной среднегодовой скорости ветра, следует учитывать необходимое удаление ветроэлектростанции от мест проживания населения, наличие подъездных путей, тип грунтового основания. Также должны оцениваться гидрогеологические условия, вероятность затопления площадки, которые могут усложнить условия возведения и эксплуатации объекта. Неизбежность тщательного, детального планирования и сложности в согласовании часто приводят к тому, что мощные ветроэнергетические проекты не доходят до этапа реализации.

В этом контексте следует учитывать возможность применения маломощных бесшумных ветроустановок, способных работать в условиях городской среды, без ущерба и снижения комфортности жизни населения. Прототипом таких установок может являться разработка голландской фирмы the Archimedes, турбина Liam F1. Главной особенностью этой турбины является необычная форма лопастей, напоминающая форму наутилуса. Как утверждают сами разработчики, она была скопирована ими из чертежей древнегреческого ученого Архимеда, который использовал эту форму для создания проекта винтового насоса.

Рисунок 1 Турбина *Liam F1* голландской фирмы the Archimedes

В результате использования необычной формы лопастей, удалось добиться уменьшения сопротивления воздуха, и тем самым увеличить КПД установки, который составляет 45%. Ось закреплена с двух сторон, что снижает в несколько раз уровень шума генератора, а также предотвращает возникновение вибрации. Кроме того, благодаря своей конструкции, турбина имеет возможность автоматической ориентации в соответствии с направлением ветра.

Таблица 1 Технические характеристики турбины Liam F1

Максимальная мощность	1500 Вт
КПД генератора	86 %
Общий КПД установки	45 %
Скорость ветра для включения	2,5 м/с
Предельно допустимая скорость ветра	35 м/с
Диапазон рабочих температур	от -25 до +60 °С
Масса	100 кг
Диаметр лопасти	1500 мм
Размеры	1745x1345x1760 мм

Выходная мощность турбины прямо пропорциональна скорости ветра.

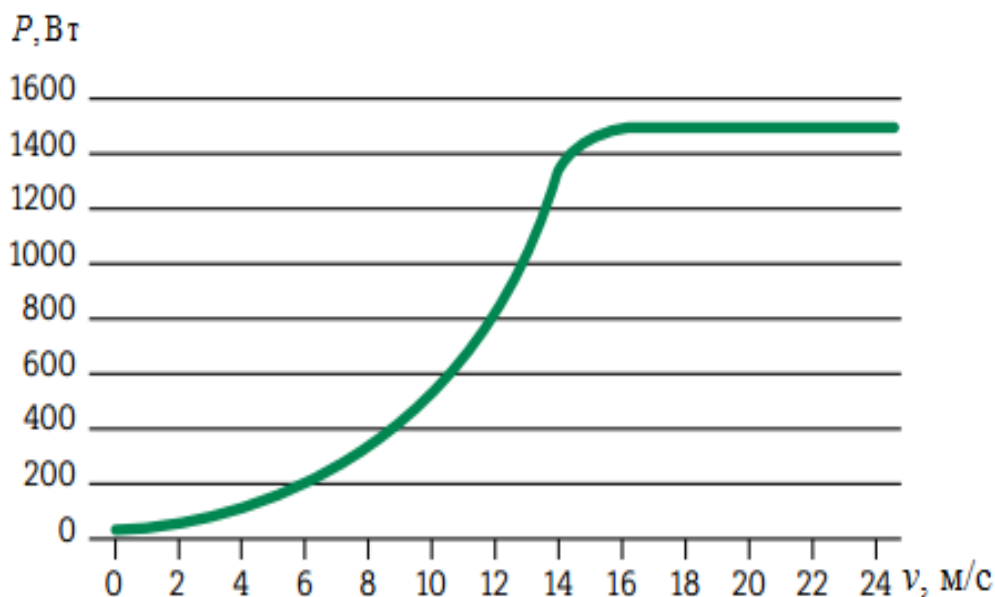


Рисунок 2 Зависимость выходной мощности турбины Liam F1 от скорости ветра

Отсутствие шумового загрязнения и вибраций делает возможным применение ветрогенераторов, подобных турбине Liam F1, на крышах жилых и общественных зданий, а относительно небольшие размеры и масса минимизируют транспортные расходы и упрощают установку. В Минске, столице Республики Беларусь, где среднегодовая скорость ветра составляет всего 2,9 м/с, следует обратить внимание на многоэтажные постройки, с высотой выше 100 м. Самым оптимальными в этом плане являются:

- жилой дом “Парус” (ввод в эксплуатацию в 2015 г., высота 114 м.)
- бизнес-центр “Royal Plaza” (ввод в эксплуатацию в 2014 г., высота 116 м).

Для оценки изменения скорости ветра по высоте используются различные модели – спираль Экмана, логарифмический закон, степенной закон. Эти модели позволяют оценить скорость ветра  $v$  на высоте  $h$ , если известна скорость ветра  $v_0$  на высоте  $h_0$ . Например, степенной закон изменения скорости ветра по высоте имеет вид [3]:

$$v_h = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

где  $v_h$  – скорость ветра, м/с, на высоте  $h$ , м;

$v_0$  – скорость ветра, м/с, измеренная на высоте  $h_0$ , м (как правило, скорости ветра измеряются на высоте 10 – 15 м);

$\alpha$  – показатель степени, зависящий от типа местности и устанавливаемый экспериментально; для центров крупных городов рекомендуется принимать  $\alpha = 0,33$ .

Учитывая погрешность вычисления, можно предположить, что среднегодовая скорость ветра на крышах указанных зданий будет в пределах от 5,5 до 6,5 м/с, что является оптимальным значением для работы таких турбин, как Liam F1.

Стоимость одной турбины вместе с установкой будет составлять около восьми – девяти тысяч евро. При современных тарифах на электроэнергию, мероприятия по оснащению высотных зданий ветроустановками будут обладать длительным сроком окупаемости. Однако, в связи с ожидаемой ликвидацией перекрестного субсидирования и увеличением стоимости электроэнергии, а также неисчерпаемости энергии ветра, можно утверждать, что в скором времени такие проекты будут более рентабельны в нашей стране.

**Литература**

1. Кундас С. П., Позняк С. С., Шенец Л. В. Возобновляемые источники энергии: монография /; МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 315 с.
2. Родькин О. И. [и др.]; под общ. ред. Кундаса С. П. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии: учебно-методическое пособие – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 160 с.
3. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения – Москва: Стройиздат, 1984. – 360 с.
4. The Archimedes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://dearchimedes.com> – дата доступа 15.10.2015
5. Wind turbines for low wind speeds defy Betz limit efficiency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www.radiolocman.com/review/article.html?di=152095> – дата доступа 15.10.2015

УДК 620.9

## УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Власенко Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Данная статья посвящена исследованию характеристик солнечных батарей с целью определения создания и построения вольт – амперной характеристики.

Модель солнечного элемента (СЭ) можно описать аналитически, либо множеством экспериментально снятых точек вольтамперной характеристики (ВАХ). Эти множества точек можно экстраполировать для условий работы солнечного элемента (температура, освещенность и др.), для которых отсутствуют экспериментальные данные. Модели с распределенными параметрами, не пригодны для практического анализа работы солнечного элемента, так как параметры солнечного элемента изменяются с изменением температуры и освещенности, что затрудняет измерение параметров во всех диапазонах. Модели с сосредоточенными параметрами нашли наибольшее распространение для достижения наиболее точных результатов [1]. Эквивалентная схема СЭ описывается уравнением и представлена на рисунке 1:

$$I_H = I_{K3} - I_0 \left( e^{\frac{e(U+I_H R_{\Pi})}{AKT}} - 1 \right) - \frac{U}{R_{Ш}}, \quad (1)$$

где  $I_{K3}$  – фототок или ток короткого замыкания СЭ;  $I_H$  – ток нагрузки;  $I_0$  -ток насыщения;  $R_{\Pi}$ ,  $R_{Ш}$  – соответственно последовательное и шунтирующие сопротивление СЭ;

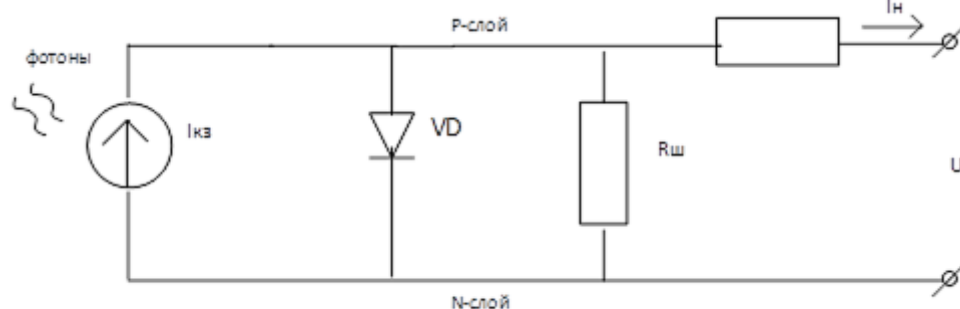


Рисунок 1. Эквивалентная схема солнечного элемента для постоянного тока.

Однако для упрощения расчетов, в том случае, когда все модули соединены последовательно была разработана упрощенную модель, которая описывает поведение модуля в рабочей точке и дает очень низкий уровень погрешности при расчете мощности, полученной от каждого модуля. В этой системе уравнений напряжение зависит от трех параметров, которые изменяется при варьировании температуры и освещенности:

$$U = (I_{K3} - I) \cdot R_{Ш} \quad (2)$$

$$U = a + b \cdot I + c \cdot I^2 \quad (3)$$

$$U = U_{xx} - R_{\Pi} \cdot I \quad (4)$$

где  $I$ ,  $U$  – соответственно значение тока и напряжения в рабочей точке;  $U_{xx}$  – напряжение холостого хода;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, определяемые изменением температуры и освещенности

Также данная модель расчета может быть полезной при частичном затемнении модуля и позволяет легко проследить колебания температуры и изменение освещенности [2].

Так как в этой системе уравнений напряжение является явной функцией, то квадратичная зависимость тока дает нам информацию об изменении точки максимальной мощности.

Упростив систему, определим максимальные значения тока и напряжения в данной точке:

$$I_m = \frac{b}{3 \cdot c} \cdot \left( \sqrt{1 - \frac{a/b}{1/3 \cdot b/c}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$V_m = \frac{2}{3} \cdot a + \frac{b}{3} \cdot I_m \quad (6)$$

Эти данные дают информацию о потерях энергии, которые могут быть вызваны изменением условий.

Данный подход позволяет сравнить ожидаемую и рабочую мощность и сделать вывод о функционировании как одного модуля, так и всей фотовольтаической системы в целом.

#### Литература

1. M.J. Sáenz, V. Martínez and J.C.. Jimeno, "Theoretical analysis of sorting and series connection of solar cells". 19-ая Европейская выставка-конференция по фотовольтаике (19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition), стр. 344-347. Париж, 2004.
2. S. Silvestre, A. Boronat and A. Chouder, "Study of bypass diodes configuration on PV modules". Applied Energy 86, стр.1632-1640, 2009.



УДК 620.9

## ЭФФЕКТЫ СОЕДИНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Власенко Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Данная статья посвящена исследованию эффектов соединения элементов фотоэлектрического модуля и последствиям несоответствия их параметров на вольт – амперную характеристику.

### *Эффекты соединения солнечных элементов*

Кристаллический модуль состоит из нескольких отдельных солнечных элементов, практически всегда соединенных последовательно (рис.1), что позволяет увеличить напряжение и выходную мощность по сравнению с одним солнечным элементом. Чаще всего напряжение модуля делают так, чтобы оно соответствовало напряжению батареи 12 В. Напряжение отдельного солнечного элемента при 25 °С и атмосферной массе 1.5 составляет около 0.6 В. Учитывая тот факт, что производительность солнечных элементов уменьшается при увеличении температуры, а для аккумулятора может потребоваться напряжение 15 В, большинство модулей включают в себя 36 элементов, соединенных последовательно. Такой модуль вырабатывает напряжение 21 В при стандартных условиях тестирования и рабочее напряжение равно 17 - 18 В при максимальной мощности и температуре. Избыточное напряжение необходимо, чтобы компенсировать падение напряжения на других элементах фотоэлектрической системы и работу не в точке максимальной мощности из-за уменьшения интенсивности излучения.

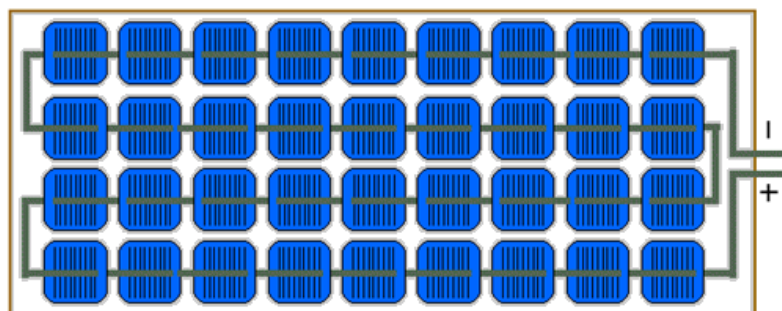


Рисунок 1 Последовательное соединение 36 элементов в фотоэлектрическом модуле.

Тогда как напряжение фотоэлектрического модуля определяется количеством солнечных элементов, вырабатываемый им ток зависит от размера солнечных элементов и их эффективности. Для атмосферной массы 1.5, при оптимальном угле наклона плотность тока, вырабатываемой солнечными элементами равна примерно 30 – 36 мА/см<sup>2</sup>. Обычно монокристаллические солнечные элементы имеют площадь 100 см<sup>2</sup>, и дают ток примерно равный 3.5 А [1]. Стоит отметить, что ток, вырабатываемый в модуле, не зависит от температуры, как напряжение, но в то же время он сильно зависит от угла наклона модуля по отношению к солнцу.

Однако на практике часто сталкиваются с эффектом несоответствия, который вызван соединением в одном модуле элементов с различными свойствами или работающими в различных условиях. Несоответствие является серьезной проблемой для фотоэлектрического модуля, так как выходные параметры модуля в плохих условиях определяются характеристиками солнечного элемента с самым низким выходом. Иными словами, когда на один из элементов модуля падает тень, мощность, вырабатываемая остальными элементами, может рассеяться на «плохом» элементе, что в свою очередь приведет к уменьшению полезной нагрузки и рассеянию большого количества электрической мощности на малом

участке, в результате чего на нем значительно возрастет температура и вероятность необратимого повреждения.

Затенение части модуля и отличие параметров (тока короткого замыкания или напряжения холостого хода) одного из солнечных элементов в модуле от остальных являются существенными проблемами, вызывающими несоответствие характеристик элементов в модуле. Различие между неидеальной и идеальной вольт-амперными характеристиками (ВАХ) представлено ниже.



Рисунок 2 - Сравнение идеального и реального солнечных элементов

*Несоответствие последовательно соединенных элементов.* Наиболее часто встречаемым видом соединения фотоэлектрических элементов в модуле является последовательное и зачастую данное соединение может вызвать некоторые несоответствия[2]. Два наиболее распространенных – это несоответствие тока короткого замыкания и напряжения холостого хода, которые значительно влияют на эффективность функционирования модуля.

*Несоответствие напряжения холостого хода ( $U_{хх}$ ) для последовательно соединенных элементов.*

Как показано на следующем рисунке в точке короткого замыкания общий ток модуля остается неизменным, однако мощность модуля в точке максимальной мощности уменьшается из-за более низкой производительности «плохого» солнечного элемента[3]. Поскольку два элемента подключены последовательно, через них течет одинаковый ток и результирующее напряжение можно вычислить, если сложим напряжения на двух элементах.

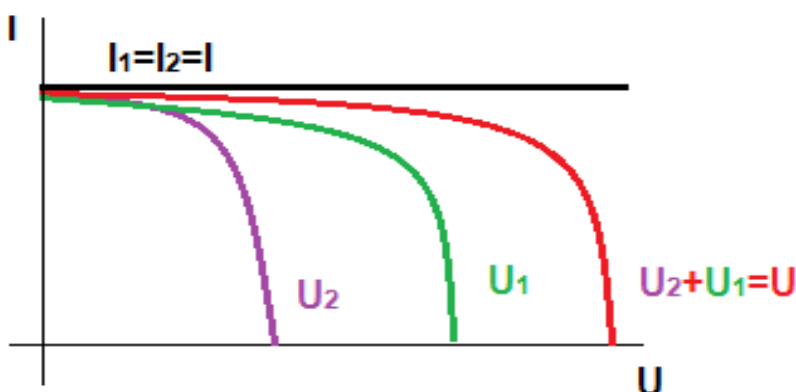


Рисунок 3 - Несоответствие напряжения холостого хода ( $U_{хх}$ )

*Несоответствие тока короткого замыкания у элементов, соединенных последовательно.*

Как изображено на рисунке ниже, в точке напряжения холостого хода влияние снижения тока короткого замыкания относительно не велико, так как оно логарифмически зависит от тока короткого замыкания. Однако, так как ток, текущий через два элемента, должен быть одним и тем же, суммарный ток не может превышать ток от плохого элемента. Поэтому ток от двух элементов не может быть больше, чем ток короткого замыкания плохого элемента.

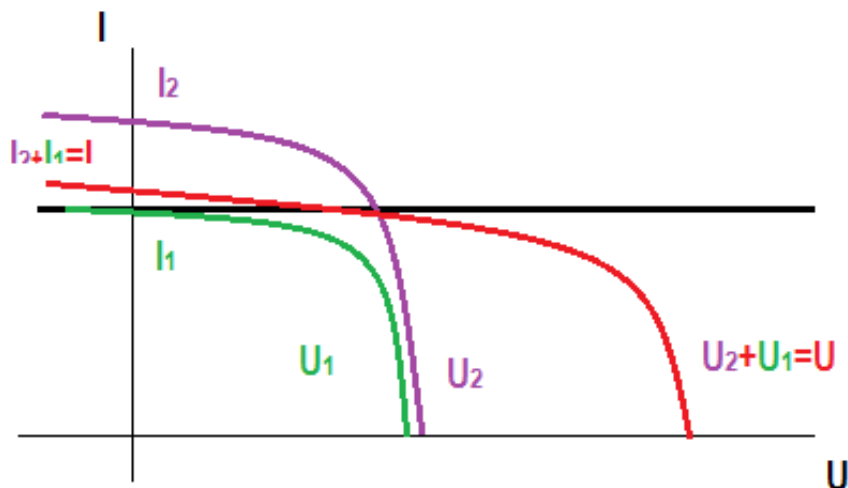


Рисунок 4 - Несоответствие тока короткого замыкания ( $I_{кз}$ )

В общем и целом, несоответствие тока и напряжения при последовательном соединении может вызвать значительное падение вырабатываемой мощности из-за высокого рассеяния энергии в плохом элементе, что, в свою очередь, приводит к необратимым разрушениям в модуле.

#### Литература

1. Luque, St. Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering". Applied Energy 86, стр. 1179, 2003.
2. Karatepe E, Boztepe M, Çolak M. Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded cells. Solar Energy 2007;81: 977–92.
3. Silvestre S, Chouder A. Effects of shadowing on photovoltaic module performance. Programme Photovoltaics: Res Appl 2008;16:141–9.

УДК 621.311.6.03

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Лавринович А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

Главная задача любой системы учета – доставить информацию об энергопотреблении от объекта учета через прибор учета (счетчик) в центр сбора и обработки данных энергосистемы (либо другого заказчика). Автоматизированные системы контроля и управления энергопотреблением (АСКУЭ) – это комплекс технических и программных средств, предназначенных для организации автоматического учета электроэнергии и автоматизированного управления процессом энергопотребления. Особенность последних разработок в этой области состоит в том, что предлагается полностью отказаться от устаревших систем, использующих импульсные последовательности и любые устройства сбора и передачи данных (УСПД) или другие интеллектуальные дорогостоящие контроллеры.

Цифровой счетчик является интеллектуальным прибором, обеспечивающим сбор, накопление и хранение информации об энергопотреблении. Фактически, это специализированный микрокомпьютер со своей операционной системой, системой ввода/вывода и энергонезависимой памятью.

Цифровые АСКУЭ (рис. 1) очень удобны для использования на объектах энергосистем (подстанции, электростанции), а также для использования на промышленных предприятиях, в коммунальной сфере. Они очень просты для установки и настройки, по своим ценовым характеристикам цифровые системы в настоящее время стоят дешевле устаревших импульсных (даже с учетом замены старых устаревших индукционных счетчиков на цифровые микропроцессорные). Цифровые системы легко масштабируются при необходимости до требуемых размеров. В настоящее время инвестиции в цифровые технологии учета гораздо более предпочтительнее инвестиций в аналоговые или дискретные на базе УСПД и импульсных приборов.

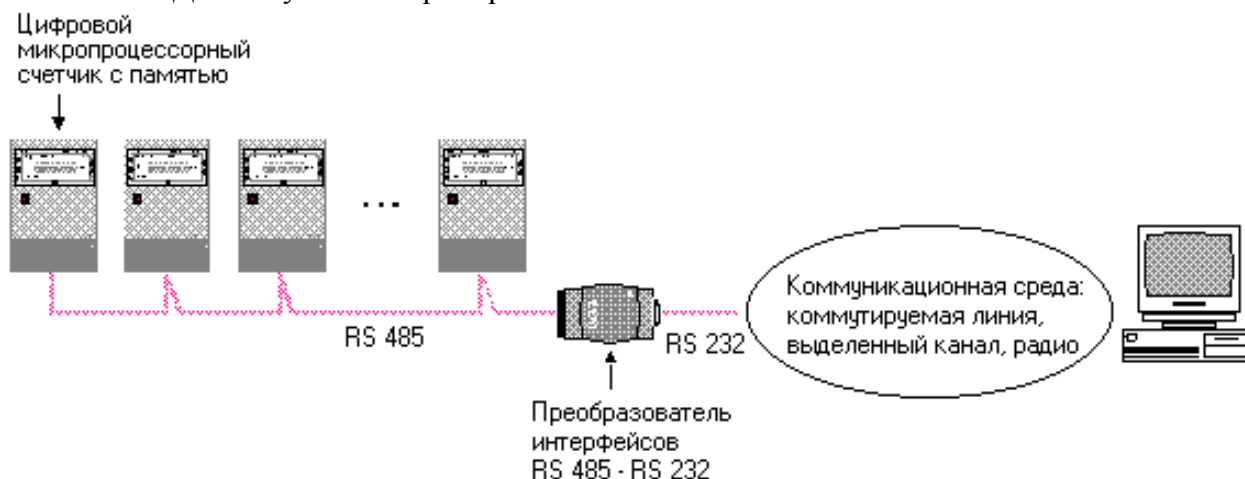


Рисунок 1. Обобщенная схема цифровой АСКУЭ

Сбор данных от счетчиков осуществляется следующим образом:

- 1) PLC (Power Line Communication) – это система, которая для передачи данных использует распределительную электросеть напряжением 0,4;
- 2) интерфейс RS-485. В качестве канала связи используется выделенный кабель (типа витая пара), которым объединяются все счетчики, входящие в АСКУЭ и этим же кабелем подключаются к диспетчерскому компьютеру;

3) радиосвязь (используется радиомодем для построения двухсторонних каналов связи между счетчиками электроэнергии и компьютером).

АСКУЭ решает следующие задачи:

1) комплексный автоматизированный коммерческий и технический учет электроэнергии и энергоносителей по действующим тарифным системам, по всем параметрам энергоучета (для электроэнергии - по расходу и мощности, для энергоносителей - по количеству и расходу среды, по количеству и расходу тепла со средой, по давлению и температуре среды энергоносителя) с целью производства внешних и внутренних расчетов по энергоресурсам и обеспечения их рационального расхода;

2) контроль энергопотребления по всем энергоносителям, точкам и структурам учета в заданных временных интервалах (3;30 минут, зоны, смены, сутки, декады, месяцы, кварталы и годы) относительно заданных лимитов, режимных и технологических ограничений мощности, расхода, давления и температуры с целью экономии энергоресурсов и обеспечения безопасности энергоснабжения;

3) фиксация отклонений контролируемых величин энергоучета, и их оценка в абсолютных и относительных единицах с целью облегчения анализа энергопотребления;

4) сигнализация (цветом, звуком, распечаткой) отклонений контролируемых величин сверх допустимого диапазона значений с целью принятия оперативных решений;

5) предоставить возможность создания технологических мнемосхем, с отображением на них информации реального времени;

6) проведение анализа энергопотребления с целью разработки и эффективного внедрения организационных и технических мероприятий, направленных на рациональное использование энергоресурсов.

По назначению АСКУЭ предприятия подразделяют на системы коммерческого и технического учета. Коммерческим, или расчетным учетом называют учет выработанной и отпущенной потребителю (предприятию) энергии для денежного расчета за нее (соответственно приборы для коммерческого учета называют коммерческими, или расчетными). Исходя из структуры предприятия, существует ряд требований по применимости коммерческого и технического учетов в общей картине энергоучета.

Ресурсы, поступающие извне, должны быть подвергнуты коммерческому учету, так как за них производится расчет. Трансформаторная подстанция ТП 110/10 кВ, РП, ГПП являются центральным звеном в системе электроснабжения завода: сюда, извне, поступает электроэнергия и именно к этой подстанции подключены все абоненты. Именно поэтому, это звено должно быть подвергнуто строгому коммерческому учету. Часть электроэнергии отдается независимым субабонентам, которые не являются внутренними объектами предприятия. В связи с этим, для точных расчетов на этом участке, нужна система коммерческого учета. Расход газа, пара, горячей воды также должен быть строго проконтролирован с помощью коммерческой системы учета.

Коммерческий учет консервативен, имеет устоявшуюся схему энергоснабжения, для него характерно наличие небольшого количества точек учета, по которым требуется установка приборов повышенной точности, а сами средства учета нижнего и среднего уровня АСКУЭ должны выбираться из государственного реестра измерительных средств. Кроме того, системы коммерческого учета в обязательном порядке пломбируются, что ограничивает возможности внесения в них каких-либо оперативных изменений со стороны персонала предприятия.

Техническим, или контрольным учетом называют учет для контроля процесса энергопотребления внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета). Нужна четкая картина затрат энергии вплоть до самого мелкого звена. Именно поэтому система учета должна охватывать все цеха и рабочие места заводских корпусов.

Требования, предъявляемые к АСКУЭ:

1. количество точек технического учета – около 300;

2. количество точек коммерческого учета – около 100;
3. дальность связи 1 – 2 км;
4. совместимость с приборами: счетчик количества тепла SKU–02, счетчик пара Endress+Hauser, электросчетчик “Гран–Электро СС 301”, счетчик газа RVG – ЕК/88К.

Использование АСКУЭ приводит к экономии энергоресурсов и финансов предприятия при минимальных начальных денежных затратах. Величина экономического эффекта от использования АСКУЭ достигает по предприятиям в среднем 10-15 процентов от годового потребления энергоресурсов, а окупаемость затрат на создание АСКУЭ происходит за 2;3 квартала.

Для технического учета можно устанавливать в целях экономии средств, приборы пониженной точности, причем выбор этих приборов не обязательно должен делаться из госреестра. Отсутствие пломбирования приборов “Энергосбыт” позволяет службе главного энергетика предприятия оперативно вносить изменения в исходные данные установленных приборов в соответствии с текущими изменениями в схеме энергоснабжения предприятия.

В настоящее время практически на всех крупных предприятиях страны наблюдаются значительные административные, структурные и технические изменения, связанные с прогрессом в области информационно-сетевых и энергоресурсосберегающих технологий с вложением значительных средств в техническое перевооружение предприятий.

В частности, АСКУЭ “ПолиГран”, созданная компанией «АГАТ», разработана с учетом принципа независимой конфигурации, таким образом, ее установка возможна на любом предприятии. Благодаря принципу модульности, система может работать с любым прибором учета и любым энергоресурсом при подключении соответствующих модулей. Кроме функций энергоучета, в АСКУЭ “ПолиГран” встроен редактор технологических мнемосхем, что позволяет значительно увеличить наглядность и удобство работы для персонала.

Программный модуль учета электрической энергии обеспечивает:

1. учет активной и реактивной энергии по тарифным зонам суток;
2. учет потребляемой мощности (получасовой и трехминутный);
3. контроль нормируемых параметров электрической сети;
4. контроль нештатных ситуаций в электрической сети и в электрических счетчиках;
5. контроль параметров качества электроэнергии;
6. автоматическое ведение журналов расчета баланса энергоиспользования за сутки, декаду, месяц, квартал, год;
7. учет графиков ограничения и аварийного отключения потребителей электрической энергии и мощности;
8. возможность построения мнемосхем энергоснабжения предприятия;
9. возможность подключения счетчиков по интерфейсам RS-485, RS-232, оптическому порту и модемным линиям.

На сегодняшний день АСКУЭ предприятия является тем необходимым механизмом, без которого невозможно решать проблемы цивилизованных расчетов за энергоресурсы с их поставщиками, непрерывной экономии энергоносителей и снижения доли энергозатрат в себестоимости продукции предприятия, переход предприятий на многотарифное обслуживание.

## НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А.Ю., Михайлова Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В.Н.

Современные производители светодиодных светильников утверждают, что срок службы таких приборов составляет порядка 50000 часов, что при малом энергопотреблении и прочих достоинствах делает их весьма выгодными. Однако со временем интенсивность свечения светодиодов снижается, поэтому при расчете надежности необходимо учитывать температурные условия работы светильника.

При расчете показателей надежности устройств необходимо располагать справочными данными о показателях надежности элементов. В настоящее время основной характеристикой безотказности элементов, приводимой в технических документах, является интенсивность отказов ( $\lambda$  – принимается постоянным в течение определенной наработки и соответствует номинальному электрическому режиму нормальным условиям эксплуатации). Из [1,2,3] принимаем значения  $\lambda_0$  для элементов схемы (Рисунок 1) и сводим их в таблицу 1.

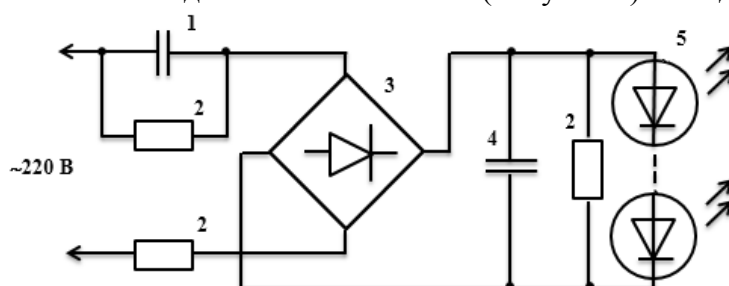


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства простейшего светодиодного светильника, где 1 – балластный конденсатор  $C1$ ; 2 -резисторы  $R1-3$ ; 3 – выпрямитель, собранный на диодах  $VD1-VD4$ ; 4 – электролитический конденсатор  $C2$ ; 5 - светодиоды  $HL1-HL27$ .

Таблица 1 – Справочные значения интенсивности отказов элементов:

Элемент:	$R1-3$	$C1$	$C2$	$VD1-4$	$HL1-27$
$\lambda_0 \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	0,044	0,022	0,173	0,21	0,034

На практике условия работы часто являются более жесткими, чем нормальные, поэтому возникает задача определения интенсивности отказов, соответствующей эксплуатационным факторам (электрическому режиму, условиям работы и конструктивно-технологическим особенностям элемента). Эту интенсивность отказов называют эксплуатационной [1]:

$$\lambda_3 = \lambda_0 \prod_{i=1}^m K_i.$$

$m$  – количество факторов, принятых во внимание из числа влияющих на безотказность элементов;  $K_i$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние  $i$ -го фактора ( $K_p$ - учитывает значение мощности рассеивания в рабочем режиме;  $K_t$  - учитывает значение температуры элемента;  $K_f$ - учитывает функциональное назначение ИМС;  $K_d$ - учитывает максимально допустимую нагрузку по мощности (току);  $K_u$  - учитывает отношение рабочего напряжения к максимально допустимому;  $K_c$  - учитывает значение номинальной емкости;  $K_R$  - учитывает значение номинального сопротивления).

Для элементов схемы модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов будет иметь вид:

$$\begin{aligned} R1-R3: \lambda_3 &= \lambda_0 K_p K_R K_M K_d K_c K_{II}; \\ C1 - C2: \lambda_3 &= \lambda_0 K_p K_c K_c K_c K_{II}; \\ VD1-VD4: \lambda_3 &= \lambda_0 K_p K_\phi K_t K_d K_u K_c K_{II}; \end{aligned}$$

$$HL1-HL27: \lambda_3 = \lambda_0 K_p K_\phi K_t K_d K_u K_\varepsilon K_\Pi;$$

В таблице 2 сведены значения поправочных коэффициентов  $K$

Таблица 2 – Значение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние  $i$ -го фактора

	$K_p$	$K_t$	$K_\phi$	$K_d$	$K_u$	$K_c$	$K_R$	$K_M$	$K_A$	$K_\varepsilon$	$K_n$
<i>RI-3</i>	1,03	-	-	-	-	-	2	1,7	1	3	5
<i>CI</i>	0,12	-	-	-	-	0,389	-	-	-	3	5
<i>C2</i>	0,12	-	-	-	-	0,2	-	-	-	3	5
<i>VDI-4</i>	0,26	1	1,5	0,6	0,7	-	-	-	-	3	8
<i>HLI-27</i>	0,26	1	1	0,6	0,7	-	-	-	-	3	8

В таблице 3 представлены результаты расчетов эксплуатационной интенсивности отказов элементов схемы при заданных поправочных коэффициентах  $K_i$

Таблица 3 – Результаты расчетов эксплуатационной интенсивности отказов элементов с расчетной схемы

Элементы схемы	$n$	$\Pi K_i$	$\lambda_{эj}$	$\lambda_{эj} n_j \cdot 10^{-6}$
<i>RI-3</i>	3	52,53	2,31132	6,93396
<i>CI</i>	1	0,700976	0,015421	0,015421
<i>C2</i>	1	0,36	0,06228	0,06228
<i>VDI-4</i>	4	3,9312	0,825552	3,302208
<i>HLI-27</i>	27	2,6208	0,089107	2,405894

Суммарная интенсивность отказов устройства:  $\Lambda_3 = \sum_{i=1}^N \lambda_{эi} n_i$

Наработка на отказ:  $T_0 = \frac{1}{\Lambda_3}$ ;

С точки зрения надежности элементы электрической схемы соединены последовательно, следовательно, отказ всей схемы происходит при отказе хотя бы одного элемента.

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном законе надежности элементов за время  $t_p = 50000$  ч рассчитывается по формуле:  $P(t_p) = e^{-\frac{t_p}{T_0}}$ .

Результаты расчетов показателей безотказной работы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные значения показателей безотказной работы

$\Lambda_3, \text{ч}^{-1}$	12,71976
$T_0, \text{ч}$	78617,81
$P$	0,529412

Полученные значения верны при температуре  $p$ - $n$  перехода равной  $25^\circ\text{C}$ , что на практике недостижимо. В условиях эксплуатации эта температура значительно выше, что приведет к снижению излучательной способности. Для светодиодов при повышении температуры от  $25$  до  $125^\circ\text{C}$  интенсивность свечения снижается примерно до уровня 70% от номинала. Обычно светодиодные светильники проектируют так, чтобы температура перехода в рабочем режиме не превышала  $80^\circ\text{C}$  [4].

Для учета влияния температуры  $p$ - $n$  перехода на надежность вводится коэффициент  $K_t$ , значение которого определяется по формуле:

$$K_t = e^{-B_a \left( \frac{1}{T_{\Pi} + 273} - \frac{1}{298} \right)};$$



где  $T_p$  – температура  $p$ - $n$  перехода;  $Ba$  – коэффициент;  $Ba = 3091$ .

Пересчет значений показателей безотказной работы будет произведен для четырех значений рабочих температур  $p$ - $n$  перехода, результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета показателей безотказной работы для различных значений температур  $p$ - $n$  перехода.

$T_p, ^\circ\text{C}$	25	50	80	100
$K_t$	1,0000	2,3100	5,0335	8,0496
$\Lambda_3, \text{ч}^{-1}$	12,7198	19,7512	35,7432	52,9595
$T_0, \text{ч}$	78617,81	50629,84	27977,34	18882,36
$P$	0,529412	0,372484	0,167435	0,070794

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что увеличение температуры в области  $p$ - $n$  перехода полупроводниковых элементов существенно снижает надежность светодиодного светильника, поэтому при проектировании и выборе оборудования нужно уделять особое внимание разработке грамотной системы теплоотвода, чтобы обеспечить максимальный срок службы светильника.

#### Литература

1. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники/ Б.Р. Левин – М.: Радио и связь, 1989 – 656с.: ил.
3. Козлов Б.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики/ Б.А. Козлов, И. А. Ушаков – М. “Советское радио”, 1975 – 472с.
4. Обзор светодиодной продукции [Электронный ресурс] URL: <http://www.svet-diod.com> (дата обращения 10.04.2015)

УДК 621.311

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТМГ12

Никитин С.С.

Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

В основе, разработанной специалистами Минского электротехнического завода им. В.И. Козлова новой серии трансформаторов ТМГ12 сохранены лучшие качества трансформаторов серий ТМГ и ТМГ11, а также ряд инноваций: передовые инженерные решения, усовершенствованная методика расчета, использование технологического оборудования и комплектующих ведущих мировых производителей. Все вместе позволило обеспечить высокие потребительские свойства нового трансформатора ТМГ12.

Трехфазные масляные трансформаторы ТМГ12 предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от плюс 40 до минус 45 °С) или холодного (от плюс 40 до минус 60 °С) климата. Номинальная частота 50 Гц, регулирование напряжения осуществляется в диапазоне до  $\pm 5\%$  на полностью отключенном трансформаторе (ПБВ) переключением ответвлений обмотки ВН ступенями по 2,5 %.

Для измерения температуры верхних слоев масла и управления внешними электрическими цепями трансформаторы по заказу потребителя комплектуются манометрическим сигнализирующим термометром.

Для контроля внутреннего давления в баке и сигнализации, в случае превышения им допустимых величин, в трансформаторах, размещаемых в помещении, предусматривается по заказу потребителя установка электроконтактного мановакуумметра.

Для измерения температуры верхних слоев масла на крышке трансформаторов предусмотрена гильза для установки жидкостного стеклянного термометра.

Для измерения температуры верхних слоев масла и управления внешними электрическими цепями трансформаторы мощностью 1000 и 1250 кВА по заказу потребителя комплектуются манометрическим сигнализирующим термометром.

К преимуществам трансформаторов ТМГ-12 относятся:

### 1. Энергоэффективность

Трансформаторы серии ТМГ12 имеют самый низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания из всех серийно выпускаемых в СНГ трансформаторов аналогичного назначения. Эта особенность становится важным аргументом в пользу использования ТМГ12 для снижения потерь электроэнергии, что в свою очередь позволяет существенно уменьшить затраты в процессе эксплуатации оборудования.

2. Улучшенные шумовые характеристики трансформаторов позволяют расширить область их применения

3. Ввод нейтрали обмотки НН рассчитан на продолжительную работу с номинальным током, что соответствует последним требованиям МЭК и значительно повышает надежность трансформаторов при несимметричных нагрузках.

4. Герметичное исполнение в сочетании с глубокой предварительной дегазацией трансформаторного масла и его заливкой под глубоким вакуумом обеспечивает высокую электрическую прочность главной и продольной изоляции.

5. Не требуются испытания масла и, следовательно, отбор его проб, как при хранении, так и при вводе в эксплуатацию.

6. Не требуют обслуживания в процессе хранения и эксплуатации на протяжении всего срока службы.

7. Срок службы — не менее 25 лет. Гарантия - 5 лет с даты выпуска на трансформатор.

На основе каталожных данных, предоставляемых заводом, проведем сравнение потерь активной мощности  $\Delta P_{xx}$  и  $\Delta P_{кз}$  для различных типов трансформаторов мощностью 1000 кВ·А

Таблица 1. Сравнение потерь активной мощности  $\Delta P_{xx}$  и  $\Delta P_{кз}$  для различных типов трансформаторов мощностью 1000 кВ·А

Тип	ТМГ12-1000/10	ТМГ11-1000/10	ТМГ-1000/10	ТМГ21-1000/10	ТМ-1000/10	ТМЗ-1000/10
$\Delta P_{xx}$ , кВт	1,1	1,4	1,6	1,2	2,1	1,9
$\Delta P_{кз}$ , кВт	10,5	10,8	10,8	11,6	12,2	10,8

Как видно из таблицы, трансформатор ТМГ12 по данным показателям существенно лучше других моделей. В частности, по  $\Delta P_{xx}$  сокращение потерь доходит до 47%, а по  $\Delta P_{кз}$  до 14% в сравнении с ТМ-1000/10.

На современных предприятиях часто устанавливают ТП с двумя трансформаторами. Рассмотрим использование трансформаторов ТМГ12 в данной ситуации. Для сравнения с другими видами трансформаторов будем использовать параметр  $S_{г}$  – граничной мощности, при которой целесообразно отключать один трансформатор с целью снижения потерь.

Расчет проведем для трансформаторов мощностью 1000 кВ·А.

Воспользуемся формулой для расчета граничной мощности:

$$S_{г} = S_{н} \sqrt{\frac{2\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}} \quad (1)$$

Для примера приведем расчет граничной мощности для трансформатора ТМГ12:

$$S_{г} = S_{н} \sqrt{\frac{2\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{10,5}} = 457,74 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Результаты расчетов для остальных типов трансформаторов сведем в таблицу:

Таблица 2. Расчет граничной мощности для трансформаторов различных типов

Тип	ТМГ12-1000/10	ТМГ11-1000/10	ТМГ-1000/10	ТМГ21-1000/10	ТМ-1000/10	ТМЗ-1000/10
$S_{г}$ , кВ·А	457,74	509,18	544,33	454,86	586,74	593,17

Как видно из результатов расчетов, трансформатор ТМГ12 1000/10 имеет практически одинаковое значение граничной мощности с более новым ТМГ21 1000/10.

Подводя итог, можно сказать, что трансформатор ТМГ12 является экономичным в плане потерь, что позволяет существенно уменьшить затраты в процессе эксплуатации.

УДК 621.06

## АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Булка Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

В настоящее время автоматизация глубоко внедрилась в промышленность, транспорт, сельское хозяйство, оборонную технику, быт. Широко распространенными элементами автоматики и телемеханики являются электрические машины малой мощности (от долей до 600 ватт), которые принято называть электрическими микромашинами (ЭМ).

По мере развития вычислительных техники и других компактных средств обработки и представления информации электрические микромашины требуют совершенствования, поскольку в они уже часто сдерживают повышение качественных показателей приборов, а в следствие технологического процесса. Особенно необходимо повышать ресурс микромашин, снижать потребление энергии и тепловыделение, уменьшать массу и габариты, снижать уровень акустических шумов, массу и габариты, увеличивать быстродействие и т.д.

Асинхронные микромашины (АММ), как наиболее распространённый тип микромашины, удовлетворяют требованиям большинства электроприборов и аппаратов, отличаясь низкой стоимостью и уровнем шума, высокой надежностью, не требуют ухода и не содержат подвижных контактов.

Асинхронные микродвигатели с короткозамкнутым ротором, как трехфазные, так и однофазные (с пусковым и рабочим фазосдвигающим элементом; с экранированными полюсами), являются самыми распространенными типами.

Асинхронные микродвигатели применяются в качестве измерительных устройств (датчики момента, резольверы, тахогенераторы), в качестве исполнительных электродвигателей систем автоматики, микрогенераторов.

Асинхронные микродвигатели имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами машин, в частности с коллекторными:

- 1) простота конструкции и низкая стоимость производства;
- 2) отсутствие источника радиопомех;
- 3) работа двигателя с малым шумом;
- 4) простота и надежность в эксплуатации.

К недостаткам асинхронных двигателей следует отнести относительно плохие регулировочные характеристики, что компенсируют при помощи частотного управления.

В трехфазном асинхронном двигателе трехфазная статорная обмотка подключена к источнику переменного тока. Статорные обмотки микродвигателя при этом могут быть соединены в треугольник или звезду. Роторная обмотка асинхронных двигателей выполняется в виде беличьей клетки, применяется на напряжения в диапазоне 36...380 В.

Для микродвигателей в большинстве случаев применяют прямой пуск, то есть непосредственное включение двигателя в сеть под номинальное напряжение. При таком способе пуска двигатель потребляет большой пусковой ток и развивает небольшой пусковой момент. Двигатели малой мощности обычно проектируют так, чтобы при непосредственном подключении обмоток статора к сети, возникающие пусковые токи не создавали чрезмерных электродинамических усилий и превышения температуры, опасных с точки зрения механической и термической прочности основных элементов двигателя.

Особенностью АММ является то, что: с увеличением нагрузки  $\cos\phi$  возрастает и при номинальной нагрузке находится в пределах 0,6...0,8; коэффициент полезного действия обычно составляет 0,4...0,65.

Очень важным фактором является обеспечение устойчивой работы микромашины. Устойчивость зависит от конкретных условий эксплуатации, в частности от формы механической характеристики двигателя и приводимого им во вращение механизма. При этом под устойчивостью будем понимать способность двигателя восстанавливать

установившуюся скорость вращения при кратковременных возмущениях (напряжения питания, изменениях нагрузки и т.п.).

Рассмотрим условие равновесия моментов, приложенных к ротору двигателя

$$M = M_{СТ} + J \cdot d\omega_2 / dt ,$$

где  $M$  – электромагнитный момент двигателя;

$M_{СТ}$  – статический момент нагрузки;

$J \cdot d\omega_2 / dt$  – динамический момент, зависящий от момента инерции вращающихся масс  $J$  и ускорения ротора  $d\omega_2 / dt$ .

При  $M = M_{СТ}$   $d\omega_2 / dt = (M - M_{СТ}) / J = 0$ , (1)

то есть, ротор вращается с установившейся скоростью. Если  $M > M_{СТ}$ , ротор будет ускоряться, а при  $M < M_{СТ}$  – замедляться.

На рисунке 1 для примера приведено несколько типичных механических характеристик механизмов. (1 – нагрузка с постоянным моментом, 2 – вентиляторная характеристика, 3 – нагрузка с постоянной мощностью.)

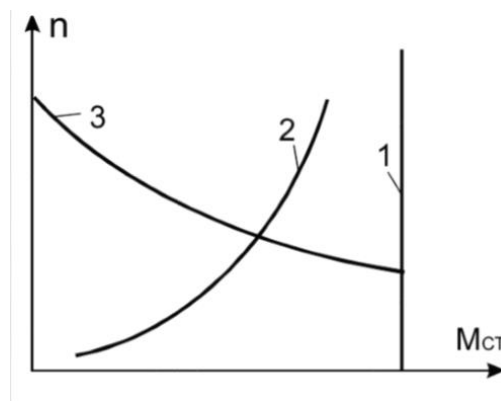


Рисунок 1. Механическая характеристика некоторых механизмов

Рассмотрим работу асинхронного двигателя на рисунке 2, приводящего во вращение механизм с падающей механической характеристикой (кривая 3 на рис 1).

В этом случае условие  $M = M_{СТ}$  выполняется в точках А и В при значениях скорости вращения  $n_A$  и  $n_B$ . В точке В при малейшем изменении момента нагрузки и возникающем в результате этого отклонении скорости вращения от установившегося значения появляется избыточный замедляющий или ускоряющий момент  $\pm (M - M_{СТ})$ , увеличивающий это отклонение. Например, при случайном увеличении момента, в соответствии с выражением (1), ротор двигателя начинает замедляться.

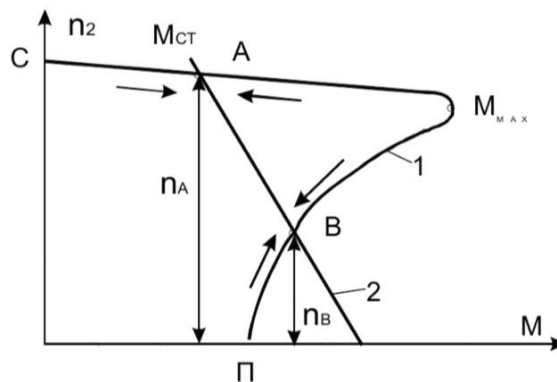


Рисунок 2. К определению статической устойчивости

В точке А режим работы двигателя будет устойчивым, так как при случайном увеличении момента  $M_{СТ}$  и замедлении ротора электромагнитный момент двигателя  $M$  будет возрастать. Когда момент  $M$  станет равен новому значению  $M_{СТ}$ , двигатель снова будет работать с установившейся, но несколько меньшей скоростью вращения.

Таким образом, асинхронный двигатель при работе на части  $C - M_{\text{MAX}}$  механической характеристики обладает свойством внутреннего саморегулирования, благодаря которому его вращающий момент автоматически регулируется по закону  $M = M_{\text{СТ}}$ . Регулирование осуществляется за счет увеличения или уменьшения скорости вращения ротора.

При работе двигателя с механизмом, имеющим так называемую вентиляторную характеристику (кривая 2 на рис. 1), устойчивая работа возможна и на части  $M_{\text{MAX}} - П$  механической характеристики, то есть при  $S > S_{\text{кр}}$ . Однако при этом в обмотках статора резко возрастают потери и резко снижается коэффициент полезного действия двигателя.

Большое значение для обеспечения устойчивой работы асинхронных двигателей имеет качество энергоснабжения. Вращающий момент асинхронного двигателя зависит от квадрата амплитуды питающего напряжения. Поэтому даже незначительное уменьшение напряжения сказывается на величине максимального момента, приводит к отклонению заданных параметров производства, а может вызвать и остановку двигателя.

Отклонение напряжения на 2% от номинального значения, приводит к увеличению погрешности на 4% бесконтактных датчиков, построенных на асинхронных микромашинах.

На практике часто для работы от однофазной сети используют трехфазные двигатели. В этом случае для образования вращающегося магнитного поля (чаще эллиптического) используются обмотки всех трех фаз, в которых с помощью фазосдвигающих элементов создается обычно несимметричная трехфазная система токов.

С точки зрения надежности ЭМММ, при их проектировании следует обратить внимание на:

- а) правильный выбор коэффициента заполнения паза;
- б) применение высококачественных смазок;
- в) обеспечение достаточно жестких конструкций;
- г) правильный выбор величины воздушного зазора, так как при малых воздушных зазорах даже при небольшой выработке подшипников появляется неравномерность воздушного зазора, что приводит к увеличению нагрузки на подшипники, усилению вибраций;
- д) выбор качественных материалов и комплектующих изделий;
- е) назначение обоснованных допусков и запасов для ограничения технологического разброса.
- ж) правильный выбор обоснованных запасов по температуре нагревания обмоток, учитывающих возможность перегрузки и неточность тепловых расчётов.

### Литература

1. Ю.В. Степановский «Преобразующие устройства приборов»
2. В.А. Лифанов «Электрические машины систем автоматики и бытовой техники»
3. Н.П. Ермолин «Электрические машины малой мощности»

УДК 621.311.16

## КОНТРОЛЬ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Самиев Ф.Х.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

В системах электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий для питания электроприемников напряжением до 1 кВ применяются распределительные трехфазные трансформаторы, имеющие высшее напряжение равным напряжению распределительной сети (как правило, 6 - 10 кВ). Они имеют номинальную мощность  $S_{\text{ном}} \leq 2500$  кВ·А, масляное или воздушное охлаждение и устройство переключения регулировочных ответвлений обмоток без возбуждения.

Будучи основными элементами трансформаторных подстанций (ТП) СЭС, трансформаторы играют важную роль в обеспечении электроэнергией промышленных объектов. От их надежной и экономичной работы зависит эффективность функционирования потребителей электроэнергии.

В то же время каждый силовой трансформатор имеет свой ресурс, т.е. срок эксплуатации, при превышении которого не гарантируется надежная и безопасная работа и требуется замена или капитальный ремонт трансформатора. В условиях эксплуатации на остаточный ресурс трансформатора в значительной степени влияет его режим нагрузки.

Для силового трансформатора установлены номинальный и допустимый режимы работы. В номинальном режиме в обмотках трансформатора протекает номинальный ток при номинальных значениях подведенного напряжения  $U_{\text{ном}}$  и частоты  $f_{\text{ном}}$ . Допустимым режимом нагрузки трансформатора считается режим продолжительной нагрузки, при которой расчетный тепловой износ изоляции обмоток, не превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы [1].

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов в СЭС могут возникать перегрузки. Под перегрузкой трансформатора понимается его такая нагрузка, при которой расчетный тепловой износ обмоток, соответствующий установившимся превышениям температуры, превосходит износ при номинальном режиме. В соответствии с ГОСТ 16110-82 различают допустимые систематические и аварийные перегрузки, величины и длительности которых установлены нормативными документами.

Допустимые систематические перегрузки не влекут за собой сокращения нормируемого срока службы трансформатора. Это ограниченная по длительности перегрузка, при которой расчетный износ изоляции за установленное время не превосходит износа за такое же время при номинальном режиме работы. При этом установленное время (обычно сутки) включает в себя длительности перегрузки, а также предшествующих и последующих нагрузок, которые меньше номинальной. Таким образом, тепловой износ в режиме систематической перегрузке компенсируется пониженным износом в нормальном режиме, при котором нагрузка меньше номинальной.

Допустимые систематические перегрузки трансформаторов определяются в соответствии с [2] или по эксплуатационным документам изготовителей. Для этого необходимо знать начальную нагрузку трансформатора в относительных единицах (коэффициент загрузки трансформатора), определяемую по формуле

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{\text{ном}}} \quad \text{или} \quad K_1 = \frac{I_1}{I_{\text{ном}}} \quad , \quad (1)$$

где  $S_1$  и  $I_1$  - соответственно полная мощность или ток начальной нагрузки (предшествующей перегрузке) трансформатора;

$S_{\text{ном}}$  и  $I_{\text{ном}}$  – номинальная мощность или номинальный ток нагрузки трансформатора.

Перегрузка трансформатора, следующая за начальной нагрузкой, в долях номинальной мощности или номинального тока вычисляется по аналогичному выражению

$$K_2 = \frac{S_2}{S_{ном}} \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{I_2}{I_{ном}}, \quad (2)$$

где  $S_2$  и  $I_2$ - соответственно полная мощность или ток перегрузки трансформатора. При этом номинальный ток трансформатора определяется по формуле

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (3)$$

где  $U_{ном}$ - номинальное напряжение трансформатора.

Значения  $K_1$  и  $K_2$ , как правило, определяются по упрощенному двухступенчатому суточному графику нагрузки трансформатора. Зная  $K_1$ , продолжительность перегрузки  $h$  (в часах) и температуру охлаждающей среды (воздуха)  $\Theta_{охл}$ , по таблице норм допустимых систематических нагрузок находят значение  $K_2$  для силового масляного трансформатора.

Аналогично определяется допустимые аварийные перегрузки трансформаторов.

В соответствии с [3] для силовых трансформаторов устанавливается допустимая кратковременная аварийная перегрузка по току  $\Delta I_{ка}$  и ее длительность  $h_k$ . Она не зависит от длительности и значения предшествующей нагрузки трансформатора и температуры окружающей среды (таблица 1) и вызывает повышенный тепловой износ витковой изоляции, что может привести к сокращению нормированного срока службы трансформатора.

Таблица 1-Зависимость допустимой длительности перегрузки от кратности перегрузки для трансформаторов

Масляные трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta I_{ка}$ , %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки $h_k$ , мин	120	80	45	20	10
Сухие трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta I_{ка}$ , %	20	30	40	50	60
Длительность перегрузки, $h_k$ , мин	60	45	32	18	5

Численные зависимости  $h_k$  от  $\Delta I_{ка}$  установлены с большими интервалами. При промежуточных данных необходимо прибегать к линейной интерполяции, что не всегда удобно на практике. Приближенную оценку  $h_k$  при любых значениях  $\Delta I_{ка}$  в диапазоне 30 – 100% для масляных трансформаторов и 20 – 60% - для сухих можно выполнять с помощью аппроксимирующих функций, рассчитанных по данным таблицы 1.

Для получения аппроксимирующих выражений использовалась компьютерная программа сглаживания экспериментальных зависимостей функции с двумя неизвестными параметрами, разработанная на кафедре «Электроснабжение» БНТУ. Программа позволяет выявлять связь между зависимой ( $h_k$ ) и независимой ( $\Delta I_{ка}$ ) переменными для разного вида



функций (линейная, степенная, полином второй степени и др.). Наилучший вид зависимости выбирается по критерию минимума среднего квадрата ошибки  $\sigma^2$ . Результаты расчетов показали, что наиболее точное приближение дает аппроксимация квадратичным полиномом. Для маслонаполненных трансформаторов при значении ошибки  $\sigma = 1,67$  мин аппроксимирующая функция имеет вид

$$h_k = 241,41 - 4,72\Delta I_{ка} + 0,023\Delta I_{ка}^2. \quad (4)$$

Полином второй степени является лучшей сглаживающей функцией и для трансформаторов с сухой изоляцией ( $\sigma = 0,3$  мин):

$$h_k = 89,8 - 1,54\Delta I_{ка} + 0,002\Delta I_{ка}^2. \quad (5)$$

Перегрузки и несимметричные нагрузки вызывают перегрев и дополнительный тепловой износ, повреждение изоляции, витковые замыкания, увеличение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах, повышенные шумовые нагрузки. Перегрузки трансформаторов могут быть вызваны следующими причинами:

- 1) резко неравномерным графиком нагрузки трансформаторов по полной мощности;
- 2) отключением одного или нескольких трансформаторов, установленных на многотрансформаторных цеховых подстанциях, при их параллельной работе на общую нагрузку;
- 3) срабатыванием устройства автоматического включения резерва (АВР) на вторичном напряжении ТП, установленном на секционном автоматическом выключателе при раздельной работе трансформаторов;
- 4) автоматическим или ручным резервированием питания по сети напряжением до 1 кВ потребителей, получающих электроэнергию от одното трансформаторных подстанций;
- 5) выбором трансформаторов и других элементов СЭС по нагрузкам, найденным для устанавливаемого производственного оборудования по средним коэффициентам использования, без учета перспективных нагрузок;
- 6) ошибками, допущенными при определении расчетных нагрузок на шинах вторичного напряжения подстанций, числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на производственном объекте;
- 7) отказом конденсаторных установок или отключением их из-за перегрузок токами высших гармоник, что приводит к увеличению реактивной нагрузки и, следовательно, к перегрузке трансформаторов;
- 8) несимметричными режимами работы трансформаторов, вызванными присоединением мощных однофазных электроприемников и их неравномерным распределением по фазам;
- 9) высшими гармоническими составляющими тока при работе мощных электроприемников с нелинейными вольтамперными характеристиками;
- 10) затяжным пуском мощных электродвигателей, подключенных к сетям вторичного напряжения трансформатора и т.д.

Для эффективного электроснабжения промышленных предприятий в процессе эксплуатации электроустановок необходимо контролировать режимы силовых трансформаторов ТП напряжением 6-10/0,4 кВ с целью обеспечения их надежной и экономичной работы. Контроль технического состояния трансформатора способствует его безаварийной работе в течение всего срока службы.

Контроль режима работы трансформаторов осуществляется устройствами и аппаратами защиты, а также контрольно-измерительными приборами, установленными на ТП. Такими приборами являются амперметры, а также счетчики активной и реактивной энергии. У трансформаторов с постоянной нагрузкой перегрузку можно установить по амперметрам, у

трансформаторов с неравномерным графиком нагрузки – путем снятия суточного графика по току, что вызывает определенные трудности на практике.

В общем случае режим работы трансформатора оценивается по значениям тока, активной и реактивной мощности каждой из обмоток, а также по уровню напряжения на выводах трансформатора или на связанных с этими выводами шинах.

В аномальных режимах, представляющих опасность для трансформаторов, они должны автоматически отключаться. При повреждениях в самих трансформаторах и коротких замыканиях (КЗ) на линиях напряжением 6 - 10 кВ, к которым они присоединены, отключение производится выключателями, установленными на источниках питания. Отключение трансформатора может быть также при перегорании предохранителей выключателей нагрузки, установленных в цепи трансформатора на высшем напряжении.

При сверхтоках в сетях напряжением до 1 кВ отключаются автоматические выключатели, установленные на отходящих линиях или в цепи трансформатора. Перегрузка нейтрали трансформатора может возникнуть при несимметричной нагрузке и однофазном КЗ в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью. Если происходит перегрузка нейтрали, то отключающий импульс при наличии выключателя нагрузки (ВН), установленного в шкафу высокого напряжения, передается на него, а при отсутствии ВН - на автоматический выключатель в цепи трансформатора.

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [3] в распределительных сетях напряжением до 20 кВ измерение нагрузок и напряжения трансформаторов в 1-й год эксплуатации производится не менее 2-х раз – в период максимальных и минимальных нагрузок, в дальнейшем – по необходимости. Таким образом, нормативными документами не предусмотрен систематический строгий контроль нагрузок распределительных трансформаторов. Поэтому в условиях эксплуатации невозможно определить допустимую систематическую перегрузку силовых трансформаторов в соответствии с требованиями [2] из-за отсутствия необходимой информации о нагрузке, предшествующей перегрузке, и о фактической температуре охлаждающей среды. В связи с этим при приближенной оценке допустимой перегрузки масляных трансформаторов исходят из того, что они могут быть перегружены на 40% при длительности послеаварийного режима 6 ч (минимальное время, необходимое для замены отказавшего трансформатора).

Для возможности реализации методики определения допустимой систематической перегрузки и допустимых аварийных перегрузок силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных необходимо разработать алгоритм и компьютерную программу. Ее эффективное использование возможно лишь в составе математического обеспечения автоматизированной системы управления трансформаторной подстанцией (АСУТП).

#### Выводы

1. Полученные в работе аппроксимирующие функции позволяют приближенно оценивать длительность допустимых перегрузок силовых масляных и сухих трансформаторов в зависимости от значений их перегрузок по току.

2. Объективная оценка перегрузочной способности силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных может быть произведена на основе автоматизированного контроля режимов работы трансформаторов и расчетов, выполненных с использованием компьютерных технологий в рамках АСУТП.

#### Литература

1. ГОСТ 16110-82 - Трансформаторы силовые. Термины и определения
2. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по эксплуатации силовых масляных трансформаторов.
3. ТКП 181-2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.- Минск: Минэнерго, 2009.-325с.

## РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Павлович Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

С учетом растущего мирового дефицита и постоянного удорожания традиционных энергоносителей возникла острая необходимость их замещения местными и возобновляемыми видами топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР).

Для Беларуси, импортирующей около 80 - 85 процентов всех ТЭР, первостепенной задачей является максимальное вовлечение в топливно-энергетический баланс местных видов топливно-энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ).

Рост доли местных и возобновляемых видов ТЭР в балансе котельно-печного топлива позволит уменьшить объемы импорта энергоносителей, а также придать дополнительный импульс развитию перспективных направлений в области энергетики. В результате не только сократится энергозависимость, но и за счет сохранения финансовых ресурсов внутри страны будет достигнут дополнительный экономический эффект (увеличение рабочих мест, создание новых высокотехнологичных производств, рост налогооблагаемой базы и другое).

Значимыми средствами в достижении поставленной цели являются:

1. строительство локальных биогазовых комплексов (далее – БГК) в сельхозорганизациях, занимающихся производством крупного рогатого скота (далее – КРС), свиней и птицы;
2. утилизация отходов водоочистных сооружений за счет создания биогазовых установок;
3. внедрение технологии утилизации барды с получением биогаза для использования в качестве топлива в котельных;
4. строительство станций очистки сточных вод с внедрением новых технологий для получения биогаза.

Экономическая эффективность строительства биогазовых комплексов обусловлена в первую очередь тремя основными составляющими: энергетической, экологической и агротехнической [3].

Как показывает мировая практика, достаточно дешевым и простым видом являются БГК, перерабатывающие отходы животноводства и растениеводства.

Беларусь является страной с хорошо развитым сельским хозяйством. Большое количество отходов растениеводства и животноводства несет значительный энергетический потенциал для развития БГК.

На конец 2014 г. численность КРС в сельскохозяйственных организациях республики составила 4321,1 тыс. голов, свиней – 3 266,9 тыс. голов, птицы – 40,0 млн. голов. [2]

Внедрение когенерационных установок электрической мощностью свыше 150 кВт технически возможно на фермах по выращиванию крупного рогатого скота с поголовьем не менее 720 голов, свинокомплексах и птицефабриках с поголовьем 6 тыс. голов и 90 тыс. голов соответственно.

Согласно «Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 годы» указанным условиям для внедрения когенерационных установок удовлетворяют 91 действующий комплекс по выращиванию КРС с общим поголовьем 348 тыс. голов, 284 планируемые к строительству в 2011 - 2015 годах молочнотоварные фермы на 241 тыс. голов, 106 свинокомплексов и 35 птицефабрик с общим поголовьем 2327 тыс. голов и 20065 тыс. голов соответственно.

Общий потенциальный объем замещения импортируемых энергоресурсов по объектам сельскохозяйственных организаций, в том числе предусмотренных к строительству, за счет внедрения биогазовых комплексов составляет 635,5 тыс. т.у.т. при установленной

электрической мощности когенерационных установок 269 МВт, что позволит вырабатывать порядка 6,5 % электроэнергии от общего потребления республики. [1]

Для обоснования внедрения биогазовых комплексов на территории Беларуси с целью повышения доли возобновляемых источников энергии в выработке тепловой и электрической энергии были произведены расчеты для определения срока окупаемости строительства БГК.

Простой срок окупаемости  $T_n$ , лет:

$$T_n = \frac{\sum_{i=1}^n k^i \times P_{уст}^i}{P_э + P_{пр} + P_{зв} + P_{уд} + P_{ур} + P_x + P_o - Z_p - Z_c - A_m - H_c - H_p}$$

где  $k^i$  - удельные капиталовложения в БГК с  $i$ -тым энергетическим оборудованием, долл./кВт установленной мощности;

$P_{уст}^i$  - установленная мощность биогазового комплекса с  $i$ -тым энергетическим оборудованием, кВт;

$P_э$  - приток денежных средств от продажи тепловой и (или) электрической энергии, долл./год;

$P_{пр}$  - приток денежных средств от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов, долл./год;

$P_{зв}$  - снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ, долл./год;

$P_{уд}$  - приток денежных средств от продаж разделенной твердой фракции в качестве удобрений, плодородных слоев почв и компостов, в случае наличия разрешения санитарно-эпидемиологических служб и наличия гарантированных покупателей удобрений, плодородных почв и компостов, долл./год;

$P_{ур}$  - прибыль от увеличения урожайности, долл./год;

$P_x$  - приток денежных средств за счет сокращения объемов вносимых в почву химических веществ, долл./год;

$P_o$  - приток денежных средств за счет сокращения объемов сбрасываемых стоков, снижения нагрузки на очистные сооружения, долл./год;

$Z_p$  - ежегодные отчисления на обслуживание и ремонт биогазового комплекса, энергетического оборудования, долл./год;

$Z_c$  - ежегодные затраты на закупку сырья для производства биогаза, долл./год;

$A_m$  - годовые амортизационные отчисления, долл./год;

$H_c$  - налоги, относящиеся на себестоимость производимой продукции, долл./год;

$H_p$  - налог на прибыль, долл./год.

В качестве примера рассмотрим срок окупаемости БГК, установленного на свиноводческом комплексе. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные для расчета срока окупаемости БГК

Удельные капвложения в 1кВт установленной мощности БГК, долл	Вид отходов	Количество голов	Установленная электрическая мощность, кВт	Температурный режим метанового брожения биомассы
4000	Свиной навоз	10000	200	Термофильный

Расчеты показывают, что значение срока окупаемости БГК колеблется в широких пределах. Динамика изменения срока окупаемости зависит от различных составляющих дохода используемой продукции БГК и представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Динамика изменения срока окупаемости БГК в зависимости от составляющих положительного денежного потока биогазового комплекса

Составляющие положительного денежного потока биогазового комплекса	Срок окупаемости БГК, лет*
Приток денежных средств от отпуска электрической энергии в государственные энергетические сети (75% от годового отпуска) без учета повышающих коэффициентов	18,30
Приток денежных средств от отпуска электрической энергии в государственные энергетические сети (75% от годового отпуска) с применением повышающих коэффициентов	9,74
Приток денежных средств от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов	7,07
Снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ	7,06
Приток денежных средств за счет продаж разделенной твердой фракции в качестве удобрений, плодородных слоев почв и компостов	6,02
Прибыль от увеличения урожайности	5,79
Приток денежных средств за счет сокращения объемов вносимых пестицидов и гербицидов	5,78
Приток денежных средств за счет сокращения объемов сбрасываемых стоков, снижения нагрузки на очистные сооружения	4,88
*При постоянной величине отчислений: $Z_p + Z_c + A_m + H_c + H_p = \text{const}$	

Большое значение для строительства БГК оказывает система государственной поддержки. Она включает гарантированное подключение к контролируемой государственной сети и приобретение государственными энергоснабжающими организациями всей предлагаемой энергии, производимой ВИЭ, а также ее оплата по стимулирующим тарифам, что позволяет сократить в два раза срок окупаемости БГК. Расчеты показывают, что с ростом количества голов животных и как следствие мощности БГК, срок окупаемости уменьшается. С увеличением числа голов на свиноферме с 10000 до 100000, срок окупаемости уменьшается на 10 %.

В ходе комплексного использования продукции биогазовой станции, срок окупаемости составляет порядка 5-7 лет. В сфере строительства БГК за счёт большого числа факторов и условий каждый проект индивидуален, его повторное применение маловероятно.

#### Вывод

Строительство БГК на территории Беларуси является целесообразным и перспективным направлением развития возобновляемых источников энергии. Об этом свидетельствует наличие больших запасов энергии биомассы, заключенной в высоком потенциале сельского хозяйства, а также экономическая эффективность ее использования, подтвержденная расчетами срока окупаемости.

Положительный эффект от строительства БГК на животноводческих комплексах позволит:

1. Увеличить прибыль за счет снижения затрат на покупку тепловой и электрической энергии;
2. Получить более экологичный энергоноситель, снизив антропогенную нагрузку на экосистемы;
3. Получить экологичное и высококачественное органическое удобрение, не содержащее семян сорняков;
4. Утилизировать и перерабатывать органические отходы;

5. На вновь строящихся фермах исключить огромные затраты на оплату технологического подключения к централизованным сетям;
6. Обеспечить бесперебойность электро- и теплоснабжения собственного производства;
7. Снизить ущерб от некачественной энергии, аварийного выхода из строя оборудования и недоотпуска продукции.

#### **Литература**

1. Постановление Совета Министров РБ 10 мая 2011г. № 586 «Об утверждении Национальной программы развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 годы»;
2. Статистический сборник национального статистического комитета РБ «Сельское хозяйство Республики Беларусь», 2014г.;
3. ТКП 17.02-05-2011 «Порядок расчета экономической эффективности БГК».

# СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

## ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### ШАРИКООЧИСТКА ТРУБОК КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН

Ботько Е.Н.

Научный руководитель – ассистент Зеленин Д.С.

### СОВМЕСТНОЕ СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА И СЕРЫ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Достанко А.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

### СУТОЧНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НА ТЭЦ

Иванов А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИОНООБМЕННОЙ ЧАСТИ ВПУ С БЛОЧНОЙ КОМПОНОВКОЙ

Варивода А.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

### СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ПИТАНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Захаркевич А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

### ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Воронов Е.О., Сорокин В.В., Рябиченко Е.Н., Соколовская Н.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кащеев В.П.

### ПРОЕКТ ПРОМЫШЛЕННО – ОТПИТЕЛЬНОЙ ТЭЦ С РАЗРАБОТКОЙ САР НАГРУЗКИ БАРАБАННОГО КОТЛА

Волосач Т.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННО – КАЧЕСТВЕННОГО ДОЗИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ХИМРЕАГЕНТАМИ

Антонов М.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

### МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

Маркова А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

### ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лихута А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

### ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ НА ТЭЦ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Иванов А.В., Лапатин М.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ УЗЛА РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ**

Мазуркевич А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Романко В.А.

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Лесничий В.С., Лазовский В.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

Лихута А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

### **ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ 135-130/13**

Ланкевич Л.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Герасимова А.Г.

### **МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Мячин О.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Герасимова А.Г.

### **СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДНОГО РАБОЧЕГО ТЕЛА НА ТЭС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Римашевская Е.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ТРАНСМУТАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕСС ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Пташиц К.П.

Научный руководитель – инженер Денисов С.М.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА ТВСА**

Секлюцкий Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ БАРАБАННОГО КОТЛА**

Парусова О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

### **ЭРОЗИЯ И КОРРОЗИЯ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ**

Окрут В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА**



ПАРАХНЕВИЧ И.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ РОМАНКО В.А.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ВПРЫСКОВ С ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ «ДАТЧИКА ТИПА ЛЮФТ»

ПАРАХНЕВИЧ И.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ КРАВЧЕНКО В.В.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХВО

РИМАШЕВСКАЯ Е.Д.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ЧИЖ В.А.

### ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ГОРЕНИИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

СОЛОВЕЙ Д.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ТАРАСЕВИЧ Л.А.

### ПРИМЕНЕНИЕ НОВЕЙШИХ ТИПОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ АСР ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

ШМАНЬ Д.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ БУРОВ А.Л.

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ МИНСКОЙ ТЭЦ-2

СУХАНОВ А.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ КРАВЧЕНКО В.В.

### ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО НЕДОЖЕГА ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ

СОЛОВЕЙ Д.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ТАРАСЕВИЧ Л.А.

### ОЧИСТКА РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ

ЧАЙКО Е.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР ЖИХАР Г.И.

### МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

СЕМАКА А.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПРОНКЕВИЧ Е.В.

### ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕАЭРАТОРОВ В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС

СОКОЛ Д.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПРОНКЕВИЧ Е.В.

### СРАВНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕГУЛЯТОРА РЕСВИКА И СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

СЕЛЮК И.Г., СЛУЦКИЙ А.Н.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ – Д.Т.Н. ПРОФЕССОР КУЛАКОВ Г.Т., К.Э.Н. ДОЦЕНТ  
КРАВЧЕНКО В.В.

УДК 621.311.25

## ШАРИКООЧИСТКА ТРУБОК КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН

Ботько Е.Н.

Научный руководитель – ассистент Зеленин Д.С.

### Способы очистки трубок конденсаторов от загрязнений

Применяемая для охлаждения конденсаторов и других теплообменников поверхностная вода содержит растворенные и нерастворенные вещества, которые выпадают в виде осадка и отложений на внутренней поверхности трубок, что снижает коэффициент теплопередачи теплообменных аппаратов и экономичность блока в целом. К веществам, загрязняющим трубки, относятся взвешенные частицы в воде (песок, грязь, водоросли, различные микроорганизмы, продукты коррозии трубопроводов) и растворенные неорганические соли, которые с повышением температуры воды переходят границу растворимости и откладываются в виде твердых отложений (соли железа, силикаты, карбонаты и сульфаты кальция, магния).

Существуют три способа очистки трубок конденсаторов турбин от загрязнений: термический, химический и механический. Для турбин перегретого пара используется метод термической сушки конденсаторов путем поочередного отключения половин конденсаторов по циркуде и повышением температуры отработавшего пара до 50–60°C. За счет теплоты отработавшего пара отложения подсыхают и отслаиваются от поверхности трубок, а затем смываются водой при быстром заполнении системы. Для турбин блоков с РБМК такой метод неприменим, поскольку в тепловую схему турбоустановки включена конденсатоочистка, ионообменная смола которой не допускает повышения температуры конденсата более 50°C. На всех турбинах АЭС смонтированы установки термической сушки конденсаторов, но они используются не для очистки, а для предотвращения стояночной коррозии трубок конденсаторов со стороны охлаждающей воды при нахождении блока в ремонте. При этом максимально допускаемая температура антикоррозионного покрытия трубных досок КНД оставляет 45°C, поэтому температура воздуха за калорифером не должна превышать этого значения.

Наиболее эффективным способом очистки внутренней поверхности трубок от солевых отложений или накипи следует считать химический способ, который проводится только на остановленной машине. Так на конденсаторах турбин КуАЭС, для охлаждения которых используется вода с высоким содержанием солей железа, смонтирована штатная схема кислотной промывки трубок КНД раствором азотной кислоты с присадкой, предотвращающей окисление сплава МНЖ.

Самый же широко применяемый способ механической непрерывной очистки трубок заключается в непрерывной циркуляции через трубную систему КНД определенного количества резиновых или пористых губчатых шариков. Раньше в системах шарикоочистки КНД использовались отечественные резиновые шарики диаметром 24 мм, то есть на 1 мм меньше внутреннего диаметра трубок. Немецкие шарики из губчатой резины имеют диаметр 26 мм (полировочные шарики типа «L») и они обеспечивают более эффективную очистку внутренней поверхности трубок от отложений. Для удаления твердых отложений предусмотрено также использование в системе шарикоочистки «Taprogge» чистящих шариков типа «Т» со сплошным корундовым покрытием диаметром 25 мм (на АЭС в связи с отсутствием солевых отложений на внутренней поверхности трубок и неудачного опыта применения корундовых шариков, приведшего к массовому повреждению трубок, в систему очистки загружают только полировочные шарики). В потоке циркуляционной воды шарики находятся практически во взвешенном состоянии (плотность замоченных шариков – 1 г/см<sup>3</sup>), что обеспечивает равномерное их распределение по трубкам. Количество шариков, загружаемых в систему шарикоочистки одного КНД, составляет всего лишь несколько процентов от числа трубок и работа установки считается удовлетворительной при частоте

прохождения 1-2 шариков в секунду по схеме шарикоочистки с использованием водоструйных эжекторов и 6-8 шариков в секунду по схеме шарикоочистки «Tarpogge».

Разновидностью механического способа очистки является гидравлический способ, заключающийся в том, что трубы поочередно промываются сильной струей воды с давлением до нескольких сотен атмосфер. До внедрения шарикоочистки «Tarpogge» конденсаторы турбин АЭС промывались во время ППР с помощью высоконапорной установки HAMMELMAN (Германия), включающей в себя насос с напором до  $1000 \text{ кг/см}^2$  и электродвигатель мощностью 154 кВт. Такая промывка может производиться и при работе турбины (как это делается на КуАЭС) с поочередным отключением конденсаторов по циркуводе.

#### **Фильтровальная установка и система шарикоочистки фирмы «Tarpogge»**

Установка шариковой очистки трубок конденсаторов представляет собой систему нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность АЭС, присоединенную к основному тракту охлаждающей циркуляционной воды. Традиционная схема шарикоочистки предполагает использование в качестве побудителей циркуляции шариков через трубки КНД водоструйных эжекторов с единой системой подачи на них эжектирующей воды. Схема шарикоочистки «Tarpogge» (по имени разработчика Йозефа Тапрогге) полностью независима для каждого КНД и включает в себя (рисунок 1):

- центробежный насос (НСШО), со специально сконструированным рабочим колесом, обеспечивающим шадящую транспортировку чистящих шариков, не вызывая их повреждения;

- фильтр предварительной очистки (ФПО), установленный в напорном циркуводе и шарикоулавливающее устройство (ШУ) в сливном циркуводе, для которых предусмотрена автоматическая промывка по достижению определенного перепада давлений на них;

- шлюз для шариков (ШШ), предназначенный для загрузки, улавливания и удаления шариков из системы;

- трубопроводы возврата шариков с ШУ и ввода их в напорный циркувод.

Фильтр предварительной очистки Ду 1800 смонтирован в напорном циркуводе до узла ввода шариков и выполнен в виде двенадцати вогнутых перфорированных сегментов с отверстиями диаметром 5 мм. Со стороны грязной воды перед фильтром установлен ротор обратной промывки, который прилегает к фильтрующей вставке и образует купол, имеющий размеры одной секции фильтра. При увеличении перепада давлений на фильтре до 140 мбар или 200 мбар ( $0,14 \text{ кг/см}^2$  или  $0,2 \text{ кг/см}^2$ ) открывается мембранный клапан на трубопроводе Ду 250, соединяющий ротор обратной промывки со сливным циркуводом и включается привод вращения ротора. Под действием разрежения в сливном циркуводе возникает встречное движение воды с расходом около 3 % от общего расхода циркуводы и отводом отслоившихся загрязнений в сливной циркувод. Во время обратной промывки ротор перекрывает каждый сегмент фильтра. В случае заедания или блокирования ротора случайным предметом, прошедшим сетки ВЗС, направление его вращения автоматически изменяется.

По истечении задаваемого программой времени промывки (30 сек при перепаде 140 мбар, 300 сек при перепаде 200 мбар) и снижение перепада давлений ниже уставки 140 мбар привод автоматически отключается и закрывается арматура стоков. Автоматическая промывка фильтра может также включаться блоком времени через каждые 24 часа работы на время 30 сек. Пропускная способность фильтра предварительной очистки составляет 23180 м<sup>3</sup>/час, максимально допустимый перепад давлений – 600 мбар ( $0,6 \text{ кг/см}^2$ ), частота вращения ротора – 140 об/мин, расход воды обратной промывки – 680 м<sup>3</sup>/час..

За фильтром предочистки в напорный циркувод с противоположных его сторон

врезаны два трубопровода Ду 80, через которые очищающие шарики с напора НСШО «впрыскиваются» в поток охлаждающей воды. Для достижения равномерного распределения

шариков трубопроводы ввода входят в напорный циркуловод примерно на 0,5 м и срез их направлен навстречу потоку очищенной воды.

Шарикоулавливающее устройство Ду 1800 и длиной 1850 мм состоит из двух полуэллиптических сит с приводом, снабженным механизмом поступательного движения, позволяющим устанавливать сита либо в положение эксплуатации, когда происходит отделение шариков от потока воды, либо промывки, когда сита устанавливаются вдоль потока и промываются охлаждающей водой. Разворот сит из одного положения в другое на

угол  $30^\circ$  может производиться также вручную с помощью маховика, расположенного на приводе. Отвод шариков на всас НСШО с каждого из сит осуществляется по трубопроводу Ду 80 с мембранным клапаном. Перед отводящими патрубками установлено турболизирующее устройство в виде металлического козырька шириной 35 мм по периметру сливного циркуловода, которое исключает залипание и уход шариков из системы. Оба трубопровода возврата шариков перед насосом шарикоочистки объединяются одним трубопроводом Ду 80.

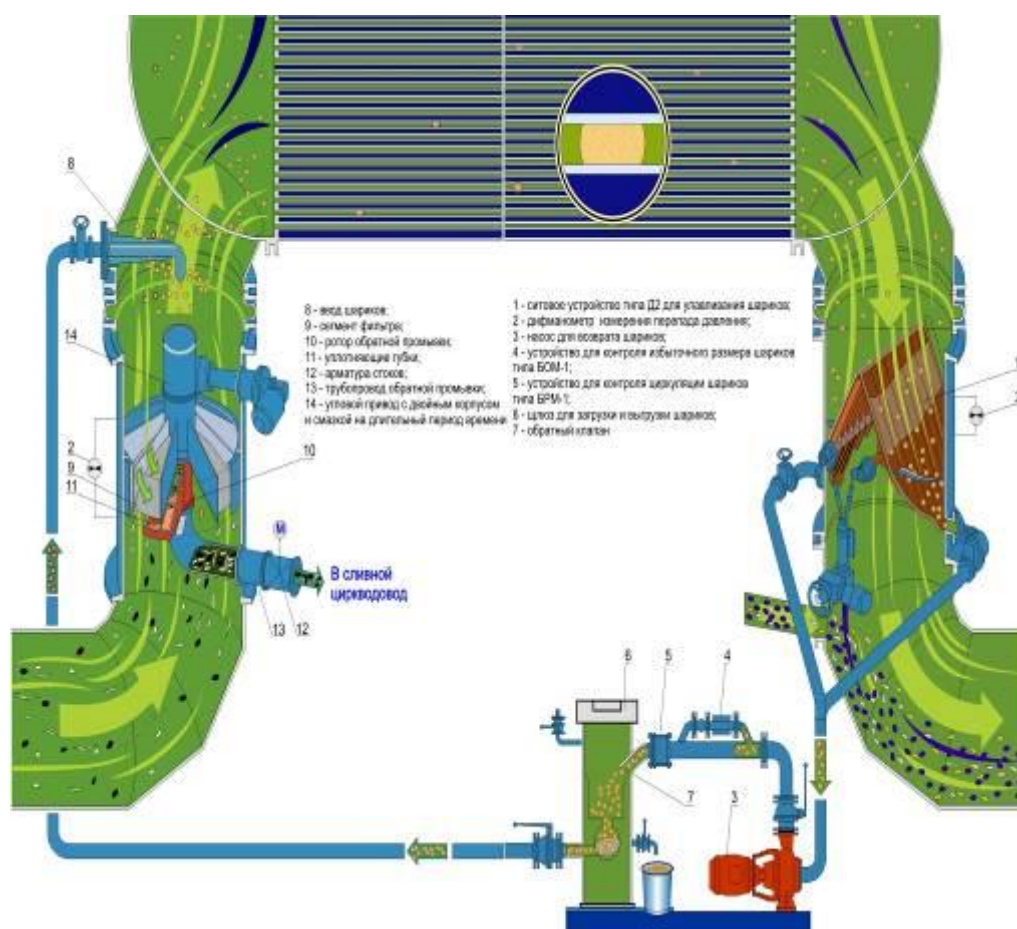


Рисунок 1 – Схема шарикоочистки фирмы «Tarpogge»

Сита, набраны из отдельных пластин с продольными ребрами жесткости при ширине зазора между пластинами 5,2 мм, длине встроенных частей 1955 мм и расстоянием между осями вращения сит – 700 мм. Максимально допустимый перепад давлений на ситах ШУ, при котором возможно их разрушение, также как для фильтра предварительной очистки составляет 600 мбар. Максимально допускаемая сила тяги механизма поступательного движения привода сит – 60000Н.

Насос системы шариковой очистки – центробежный консольный с рабочим колесом диаметром 209 мм, производительностью 30–45 м<sup>3</sup>/ч и развиваемым напором 1,3–1,38 кг/см<sup>2</sup>

при мощности электродвигателя 4 кВт. Безлопастное рабочее колесо насоса изготовлено из углеродистой стали и представляет собой два диска с изогнутыми перегородками, образующими два канала для выхода воды с шариками. Вал уплотняется вращающимся контактным уплотнительным кольцом. Шарикоподшипник снабжен высококачественной смазкой с литиевыми присадками, рассчитанной на 15000 часов работы или на 2 года при нормальных условиях эксплуатации.

Шлюз для загрузки и выгрузки шариков выполнен в виде вертикального цилиндрического сосуда, закрытого сверху крышкой со смотровым стеклом. Снаружи в верхнюю часть корпуса вварены входной патрубок Ду 80 и патрубок Ду 30 под воздушник, в нижнюю часть корпуса – выходной и дренажный патрубки. Для сбора шариков внутри корпуса шлюза установлена перфорированная корзина, соединенная с выходным патрубком через шарикоулавливающий клапан.

В рабочем положении шарикоулавливающий клапан открыт и шарики через выходной патрубок шлюза проходят в напорный циркуловод. В положении улавливания шариков перед промывкой ШУ клапан закрыт и шарики задерживаются в корзине. Приводится в действие шарикоулавливающий клапан поворотным сервоприводом или маховиком по месту.

УДК 621.181.12

## СОВМЕСТНОЕ СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА И СЕРЫ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Достанко А.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева разработан и испытан карбамидный метод, позволяющий очищать дымовые газы от оксидов азота более чем на 95 % и практически полностью удалять оксиды серы. Процесс не требует предварительной подготовки газов. Величина  $pH$  абсорбционного раствора колеблется в пределах 5 – 9, что не вызывает коррозии аппаратуры. Эффективность метода практически не зависит от колебаний входных концентраций оксидов азота и серы.

На степень очистки газов существенно влияет  $pH$  абсорбционного раствора. В случае эквимольной смеси оксидов азота удовлетворительная степень очистки (более 80 %) достигается в интервале  $pH = 5 - 9$ , наилучшая (более 95%) – при  $pH = 5 - 6$ .

Одним из наиболее важных параметров очистки является степень окисленности оксидов азота. Взаимодействие  $NO_x$  с карбамидом протекает через стадию их растворения в воде с образованием азотистой кислоты. Для ее образования требуется эквимольное соотношение  $NO : NO_2$ , близком к 1, степень абсорбции  $NO_x$  максимальна. В случае, когда в газах присутствует только  $NO_2$ , при растворении образуется смесь азотной и азотистой кислот, т.е. лишь 50 %  $NO_2$  переходит в азотистую кислоту, которая легко разлагается карбамидом. Моноксид азота практически не растворим в воде, но, возможно, образует с карбамидом аддукт, который затем при высокой температуре разлагается на  $N_2$ ,  $CO_2$  и  $H_2O$ . При этом около 15 %  $NO$  из газов улавливается. В смеси оксидов азота, где преобладает диоксид, сначала поглощаются  $NO$  и  $NO_2$  как эквимольная смесь, а затем поглощается оставшаяся часть  $NO_2$ . Если же концентрация  $NO_2$  меньше концентрации  $NO$ , то весь  $NO_2$  поглотится вместе с  $NO$  как эквимольная смесь, а оставшийся  $NO$  поглотится не более чем на 15 %.

Изучение зависимости степени очистки дымовых газов от  $NO_x$  от концентрации карбамида показало, что уже при его содержании 40 г/л достигается 95 %-ная степень очистки от оксидов азота. При дальнейшем увеличении концентрации карбамида степень очистки увеличивается незначительно – до 98 % при концентрации 100 г/л. При концентрации карбамида 5 г/л степень очистки составляет 70 %. Ее увеличение с ростом концентрации карбамида, очевидно, связано с возрастанием скорости диффузии молекул последнего к границе раздела фаз. Отмечено также, что при содержании оксидов азота более 1 г/м<sup>3</sup>, степень очистки не зависит от их концентрации и составляет 98 – 99 %. Степень очистки возрастает с 63 до 95% при изменении содержания  $NO_x$  с 40 до 200 мг/м<sup>3</sup>, при дальнейшем его увеличении до 1000 мг/м<sup>3</sup> степень очистки возрастает незначительно – с 95 до 98 %. Вероятно, это связано со снижением скорости диффузии в газовой фазе при малых концентрациях оксидов азота.

Для очистки дымовых газов от оксидов азота более чем на 95 % время пребывания газов в аппарате должно составлять 0,5 – 1,5 с. Степень очистки возрастает с увеличением времени пребывания, однако при малых скоростях газа (менее 0,2 м/с) она снижается вследствие возрастания толщины диффузионного подслоя. При больших скоростях газа наблюдается проскок неочищенного газа. Необходимая плотность орошения – от 0,3 до 1 л на 1 м<sup>3</sup> газа.

Взаимодействие диоксида серы с карбамидом протекает через стадию гидролиза до карбамита аммония. Температурная зависимость степени очистки дымовых газов от  $SO_2$  от температуры показывает, что как и при очистке от оксидов азота наблюдается минимум при температуре 50 – 60 °С. В интервале от 20 до 55 °С степень очистки от диоксида серы снижается вследствие уменьшения растворимости газа в жидкости. При повышении

температуры более 55 °С эффективность процесса начинает возрастать и при 80 °С достигает 98 %. При температурах ниже 50 °С в растворе обнаруживаются сульфит-ионы, образующиеся при растворении  $SO_2$ , при более высоких температурах обнаружить его не удастся. По-видимому, карбамид образует с диоксидом серы аддукт, что приводит к резкому возрастанию степени очистки.

При температуре 80 °С степень очистки от  $SO_2$  резко возрастает с изменением  $pH$  от 6,5 до 10. При  $pH$ , меньше 3, очистки вообще не происходит. В ходе абсорбции  $SO_2$  значение  $pH$  раствора уменьшается с 8 до 5,5 – 6 и долго остается на этом уровне. Проведение процесса при более высокой температуре приводит к увеличению  $pH$  раствора до 8,5 – 8,7 вследствие медленного разложения карбамида с выделением аммиака. При температурах 70 – 95 °С раствор карбамида оказывается буферным.

Зависимости степени очистки от концентраций карбамида и диоксида серы имеют тот же характер, что и в случае оксидов азота. С изменением концентрации карбамида от 5 до 40 г/л степень очистки возрастает с 82 до 98 %, а в интервале 40 – 100 г/л практически не изменяется. При концентрации  $SO_2$  выше 200 мг/м степень очистки от  $SO_2$  не зависит от концентрации последнего.

При очистке дымовых газов от диоксида серы в абсорбционном растворе образуется сульфат аммония. Исследования показали, что накопление  $(NH_4)_2 SO_4$  в растворе вплоть до содержания 350 г/л практически не влияет на степень очистки. Так, при концентрации сульфата аммония 20 г/л она составляет 99 %, при 350 г/л – 95 %. При содержании сульфата аммония 400 г/л происходит некоторое снижение степени очистки, что связано с изменением физических свойств раствора: увеличиваются плотность и вязкость, что приводит к снижению скорости диффузии в растворе.

Наряду с реакциями непосредственного взаимодействия оксидов азота и серы с карбамидом возможно их взаимодействие между собой.

Совместное присутствие оксидов азота и серы способствует повышению степени очистки. Заметное влияние на степень очистки оказывает изменение соотношения  $SO_2 : NO_x$ . При растворении газов в зависимости от этого соотношения возможно образование различных продуктов. Побочные реакции, приводящие к образованию  $NO$ ,  $N_2O$  или  $HNO_3$ , ухудшают степень очистки, т.к. эти газы плохо улавливаются абсорбентом. При соотношении  $SO_2 : NO_x$ , большем или равном 3, очистка будет улучшаться. Экспериментально было показано, что изменение соотношения  $SO_2 : NO_x$  от 0,5 до 3 при прочих равных условиях способствует изменению степени очистки  $SO_2$  от 89 до 99 %,  $NO_x$  – от 63 до 98 %.

Для испытания метода в промышленных условиях на Змиевской ГРЭС была построена опытно-промышленная установка. Установка состояла из бака для раствора карбамида емкостью 18 м<sup>3</sup>, насоса производительностью 30 м<sup>3</sup>/ч (напор 40 м в.ст.), для подачи раствора в абсорбер, вентилятора МВ-18А производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/ч, для подачи дымового газа в адсорбер, адсорбера диаметром 3 м и высотой 8 м, производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч с двумя ступенями вихревого контакта и степенью орошения с 12-ю форсунками, установленными на выходе из адсорбера, под каплеотбойником.

Исследования были проведены при сжигании топлива различного рода, (мазут, уголь, газ) и различных режимах работы установки. Проверка карбамидного метода очистки на опытно-промышленной установке в условиях действующего энергооборудования Змиевской ГРЭС показала, что степень очистки газов от оксидов азота достигает 98 % при практически полном удалении диоксида серы. Процесс не требует предварительной подготовки газов, применения специальных коррозионностойких материалов и не зависит от колебаний входных концентраций оксидов азота и серы. Отработанные абсорбционные растворы могут быть утилизированы с получением сульфата аммония или гипса.

УДК 621.165

## СУТОЧНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НА ТЭЦ

Иванов А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Рост неравномерности суточных графиков электрических нагрузок энергосистем привел к необходимости привлечения теплофикационных энергоблоков, в том числе блоков с турбинами Т-250/300-240 к регулированию графиков электрической нагрузки.

При регулировании графика нагрузки режим работы теплофикационного оборудования определяется не только уровнями электрической и тепловой нагрузки потребителей, но и их взаимным наложением во времени, а также динамическими характеристиками теплосети.

Тепловая нагрузка горячего водоснабжения меняется в течение суток в соответствии с разбором горячей воды абонентами: утренний пик, затем дневной провал, вечерний пик и ночной провал, при котором нагрузка падает почти до нуля.

Соответственно с суточным графиком тепловой нагрузки горячего водоснабжения меняется температура обратной сетевой воды  $t_{oc}$  после абонентов, но до ТЭЦ эти изменения доходят с запаздыванием, которое определяется емкостью теплосети.

На рисунке 1 приведен примерный график изменения режимов работы и параметров теплосети энергоблока ТЭЦ с турбиной Т-250/300-240 в течение суток рабочей недели [1].

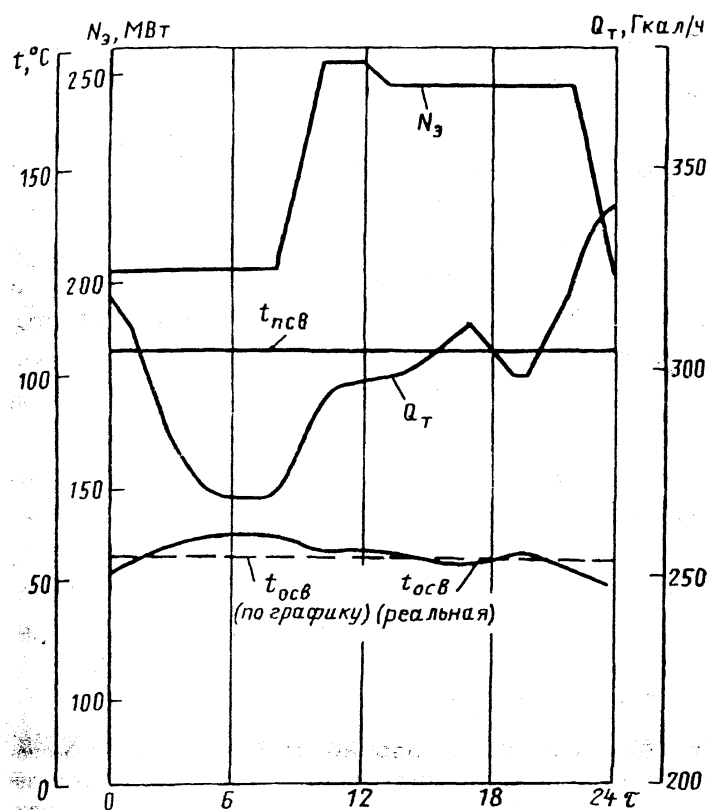


Рисунок 1 – Суточные графики изменения электрической и тепловой нагрузки турбоагрегата Т-250/300-240

Как видно из рисунка 1, величина  $t_{oc}$  достигает наибольшего значения к шести часам утра, то есть к моменту начала утреннего набора электрической нагрузки, а затем снижается.

Другими словами, хотя максимумы и провалы нагрузки горячего водоснабжения у потребителя практически совпадают с максимумами и провалами электрической нагрузки, но из-за большой емкости теплосети фактически на ТЭЦ графики отпуски теплоты и



электроэнергии существенно несинхронны. При этом повышение  $t_{oc}$  в утренние часы при заданном постоянном давлении  $p_T$  в теплофикационном отборе приводит к снижению отпуска теплоты  $Q_T$  и выработки электроэнергии на тепловом потреблении, и как следствие, к понижению экономичности работы турбоагрегата. Наоборот, снижение  $t_{oc}$  в ночные часы, приводит к повышению  $Q_T$  и мощности турбоагрегата при работе его по тепловому графику нагрузок.

Изменяется также регулировочный диапазон турбоустановки.

Так, по данным [1] снижение в 24 ч температуры сетевой воды до  $48^\circ\text{C}$  (при расчетной  $54,5^\circ\text{C}$ ) уменьшает возможность разгрузки блока с турбиной Т-250/300-240 на 12,7 МВт. Дальнейшее снижение электрической нагрузки возможно только в случае передачи части тепловой нагрузки на пиковые водогрейные котлы.

Более благоприятный режим работы теплофикационных блоков, привлекаемых к суточному регулированию электрического графика, можно получить, если обеспечить снижение тепловой нагрузки в период провалов электрической нагрузки и ее увеличение в период пиков электрической нагрузки. Такое суточное регулирование отпуска теплоты (за счет понижения  $t_{oc}$  по сравнению с расчетным графиком теплосети в часы ночного провала) может быть целесообразным как в отопительный, так и межотопительный периоды работы ТЭЦ.

На рисунке 2 показана возможная экономия топлива в энергосистеме за счет суточного регулирования при работе теплофикационного блока 250 МВт Минской ТЭЦ-4 по комбинированному графику нагрузок, при котором в период провала тепловой нагрузки (в ночные часы) блок работает по тепловому графику, а в остальные часы суток – по электрическому графику [2].



Рисунок 2 – Экономия топлива в энергосистеме за счет суточного регулирования при работе теплофикационного блока 250 МВт по комбинированному графику нагрузок:

1, 2 – длительность провала тепловой нагрузки  $\tau_{пр} = 6$  и 8 часов соответственно

По данным расчетов применительно к условиям работы блоков 250 МВт Минской ТЭЦ-4 [2], выравнивание суточного графика тепловой нагрузки при определенных условиях может обеспечить экономию свыше 20 т у.т. за каждые сутки межотопительного периода. Еще более существенную экономию топлива суточное регулирование может принести в течение отопительного периода, когда средняя за сутки нагрузка блока составляет 220...280 Гкал/ч.

Снижение «горба» температуры обратной сетевой воды  $t_{oc}$  на  $5^\circ\text{C}$  обеспечивает повышение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении в утренние часы суток примерно на 2%, а также увеличение располагаемой тепловой мощности ТЭЦ в

утренние часы и максимального отпуска теплоты от турбоустановок и, соответственно, снижение пикового отпуска теплоты от котельных.

В существующих условиях работы Белорусской энергосистемы, примерно половину генерирующих мощностей которой составляют теплофикационные агрегаты, при регулировании суточного графика электрической нагрузки наиболее трудной задачей является не покрытие пиковой нагрузки, а прохождение ночных провалов в течение отопительного периода. После ввода в энергосистеме двух мощных блоков Белорусской АЭС и, особенно, с выходом атомной станции на проектную мощность эта проблема существенно обострится. Возникнет ряд проблем в использовании, загрузке и режиме деятельности электростанций, работающих на органическом топливе. В новых условиях повышение  $t_{oc}$  в ночные часы снизит электрическую мощность теплофикационных турбин и, соответственно, требуемую мощность специальных регуляторов нагрузки в энергосистеме, которые необходимо будет ввести в эксплуатацию (водогрейные электродкотлы на ТЭЦ, пиковые ГТУ, гидро- или пневмоаккумулирующие установки и прочее).

#### Литература

1. Ильин, Е.Т. Влияние динамики теплосети на режиме работы энергоблоков с турбинами Т-250-240 / В.В. Куличихин, Б.В. Ломакин // Электрические станции. – 1996. – № 3. – С. 22 – 26.
2. Качан, А.Д. Оптимизация режимов подогрева сетевой воды и мощности блоков 250 МВт при работе с частичными тепловыми нагрузками / А.Д. Качан, О.А. Стрелкова и др. // Электрические станции. – 2002. – №3. – С 21 – 25.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИОНООБМЕННОЙ ЧАСТИ ВПУ С БЛОЧНОЙ КОМПОНОВКОЙ

Варивода А.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

По способу подключения ионитных фильтров в схемах обессоливания различают коллекторный и блочный принципы их соединения. При коллекторном способе включения ионитных фильтров исходная вода из общего коллектора параллельными потоками подается к каждому фильтру данной ступени. Фильтрат после фильтров также собирается в общий коллектор и поступает на группу фильтров следующей ступени. Таким образом, фильтры соединены параллельно, а ступени обессоливания последовательно. В коллекторных схемах отдельный фильтр автономен, т.е. его состояние (работа-резерв-регенерация) не определяет состояние группы фильтров. При блочном способе включения в состав каждого блока (цепочки) входит по одному фильтру соответствующей ступени ионирования, что обеспечивает полный цикл обработки воды по выбранной схеме. В данном случае каждый отдельный фильтр не является самостоятельным и блок работает периодически, имея три основных состояния: работа-резерв-регенерация (все фильтры действуют одновременно). Фильтр смешенного действия в цепочку не включают. Количество цепочек согласно расчету водоподготовительной установки увеличивают на одну резервную. Для схемы с коллекторным способом расход реагентов на регенерацию значительно выше, чем в блочной схеме, и при автоматизации требуется большее количество датчиков химического контроля. При разработке систем автоматизированного управления с блочным способом соединения имеет место сложный алгоритм управления работой фильтров, однако проще осуществлять контроль за качеством воды, снижается расход реагентов на регенерацию и воды на собственные нужды за счет проведения совместных регенераций одноименных фильтров первой и второй ступени. Обе схемы имеют области оптимального применения, и вопрос о выборе способа подключения фильтров в каждом конкретном случае решается отдельно. Однако при производительности ВПУ свыше 400 м<sup>3</sup>/ч предпочтение отдают блочной схеме.

При разработке автоматизированной установки химического обессоливания воды на экономически целесообразном уровне в первую очередь требуется определить оптимальную структуру технологической схемы и оптимальные параметры эксплуатации этой установки, реализация которых обеспечивается путем автоматизации её управления в различных эксплуатационных режимах. Автоматизированная система управления установкой, выполненной по схеме с блочным включением фильтров (при условии оснащения её надежно действующей арматурой и качественными ионообменными материалами), обеспечивает проведение в оптимальных условиях максимального числа операций в режимах «работа» и «восстановление» фильтров, а также регулирование производительности установки путем сохранения баланса между потреблением химически обессоленной воды и подачей исходной обессоленной воды на установку.

Блочная схема включения фильтров позволяет реализовать комплексную автоматизацию ионообменной установки. Под комплексной автоматизацией понимается автоматическое выполнение всех основных и вспомогательных технологических операций по эксплуатации всей ионообменной установки при централизации контроля и управления. Комплексная автоматизация, с одной стороны, не исключает участия человека в выборе рационального и экономического режима технологических процессов, в наблюдении за действиями автоматических устройств, а с другой стороны, определяет это вмешательство как минимальное возможное.

Структура автоматизированной системы управления установкой химического обессоливания воды с блоками фильтров определяется в основном организацией процессов восстановления фильтров. Возможны следующие варианты построения технологических схем при их автоматизации: все блоки фильтров разбиваются на группы (из двух-трёх блоков), не связанные с процессом восстановления, но связанные общей системой управления. В каждой группе имеется свой регенерационный узел и восстановление производится только в одной

группе. Все элементы групп, кроме устройств управления запорными органами, используются многократно; все блоки фильтров индивидуальны, каждый имеет свой отдельный регенерационный узел и свою схему управления процессами. Устройства же управления устанавливаются индивидуально на каждый блок.

Автоматизированная установка с блочным включением фильтров по сравнению с химводоочисткой, где однофункциональные фильтры включены параллельно, дает значительную экономию капитальных затрат за счет сокращения используемого водоподготовительного оборудования, фильтрующих материалов, трубопроводов, арматуры, приборов и средств автоматики, а также годовых издержек, вследствие уменьшения амортизационных отчислений, расхода реагентов и воды на собственные нужды.

В качестве основного регулятора и дифференциатора были выбраны микропроцессорные устройства производства фирмы «ОВЕН», представленный на рис. 1.



Рисунок 1 – Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 73

ОВЕН ПЛК 73, по сравнению с регулятором «БСТ-Каскад», обладает рядом очевидных преимуществ. ОВЕН ПЛК 73 является цифровым, наличие на борту различных по типу входов и выходов, полноценное устройство, не требующее дополнительного оборудования. Задатчиками ручного управления стали задающие устройства ЗУ 50. В качестве расходомера принята диафрагма камерная ДКС-0,6-80 в комплекте с датчиком разности давлений Метран-100-ДД. В качестве уровнемера принят датчик гидростатического давления (уровня) Rosemount 3051S-L-G. В качестве блока управления используется БУ-21. Для увеличения количества аналоговых входов ПЛК используется модуль аналоговых входов MB110-2AC фирмы ОВЕН. Используется клапан TRV-80-100-2-1 регулирующий седельных двухходовой с электроприводом Regada ST mini 472.0-0DFAG/00 с датчиком положения. В качестве регистратора используется Метран-900, предназначенный для сбора, обработки и регистрации информации, поступающей от датчиков с выходным унифицированным сигналом.

На рис. 2 показана структурная схема автоматизации обессоливающей установки с БФ, состоящая из следующих элементов: объекта управления 1, исполнительных механизмов 2, датчиков и концевых выключателей 3, устройства логического управления 4 и сигнализации 5.

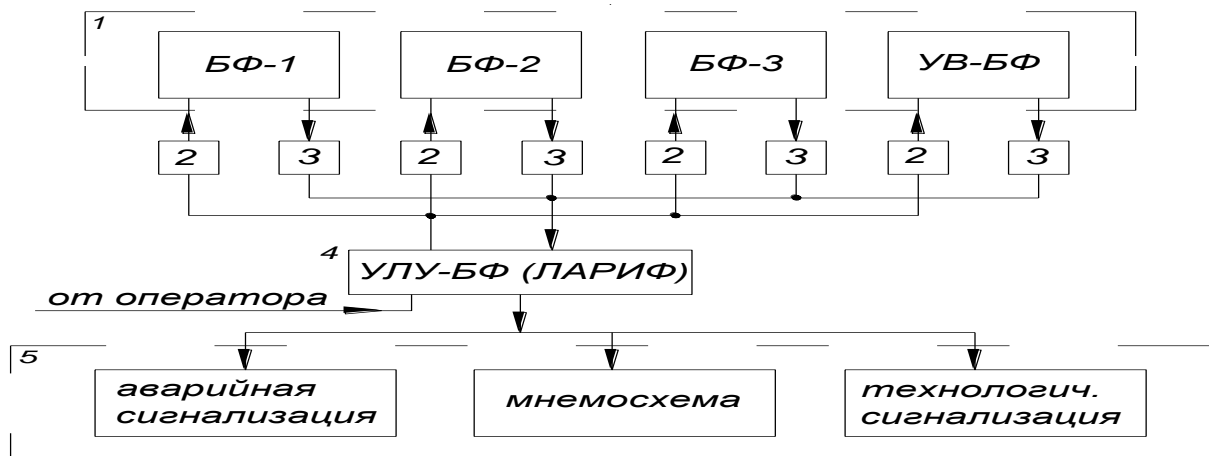


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления

В объект управления входят: фильтры с запорной арматурой, декарбонизатор и его бак с насосами НЧОВ, узел восстановления с баками-мерниками и насосами-дозаторами кислоты (НДК) и щелочи (НДЩ) и баки обессоленной воды. К исполнительным механизмам относятся: электродвигатели насосов, мембранные или поршневые приводы к арматуре и т.д. К датчикам относятся: расходомеры и концентратомеры с сигнальными устройствами, сигнализаторы истощения фильтров, сигнализаторы истощения фильтров, сигнализаторы уровня, контактные манометры и концевые выключатели арматуры. К устройству логического (дискретного) управления относятся устройства логического управления блоком фильтров типа УЛУ-БФ с командно-информационными элементами, включая задатчики времени и кнопки-табло. В систему сигнализации входят: световые табло технологической и аварийной сигнализации, символы и сигналы мнемосхемы и звуковая сигнализация.

Дискретная информация от датчиков БФ и узла восстановления (УВ) поступает на входы УЛУ-БФ, которое обеспечивает формирование логических команд, необходимое для выполнения следующих операций: срабатывания системы сигнализации о состоянии БФ («работа», «истощение», «восстановление», «резерв», «рециркуляция», «нарушение режима» с расшифровкой этого нарушения на мнемосхеме); закрытия и открытия арматуры БФ и УВ при автоматическом и дистанционном управлении; пуска и останова счетчиков времени, определяющих время каждой операции; срабатывания защиты при опасном повышении концентрации регенерационного раствора, расхода взрыхляющей воды и уровня в баке декарбонизатора; позиционного регулирования производительности БФ по уровню в баках химически обессоленной воды; контроля правильности составления технологических линий и качества проведения процесса восстановления БФ.

На рис. 3 изображена функциональная схема системы управления. Для данной установки необходимо обеспечить поддержание следующих величин: уровня в баках обессоленной воды и баках декарбонизаторов блоков фильтров; расхода взрыхляющей воды; расхода разбавляющей воды; расхода отмывочной и домывочной воды.

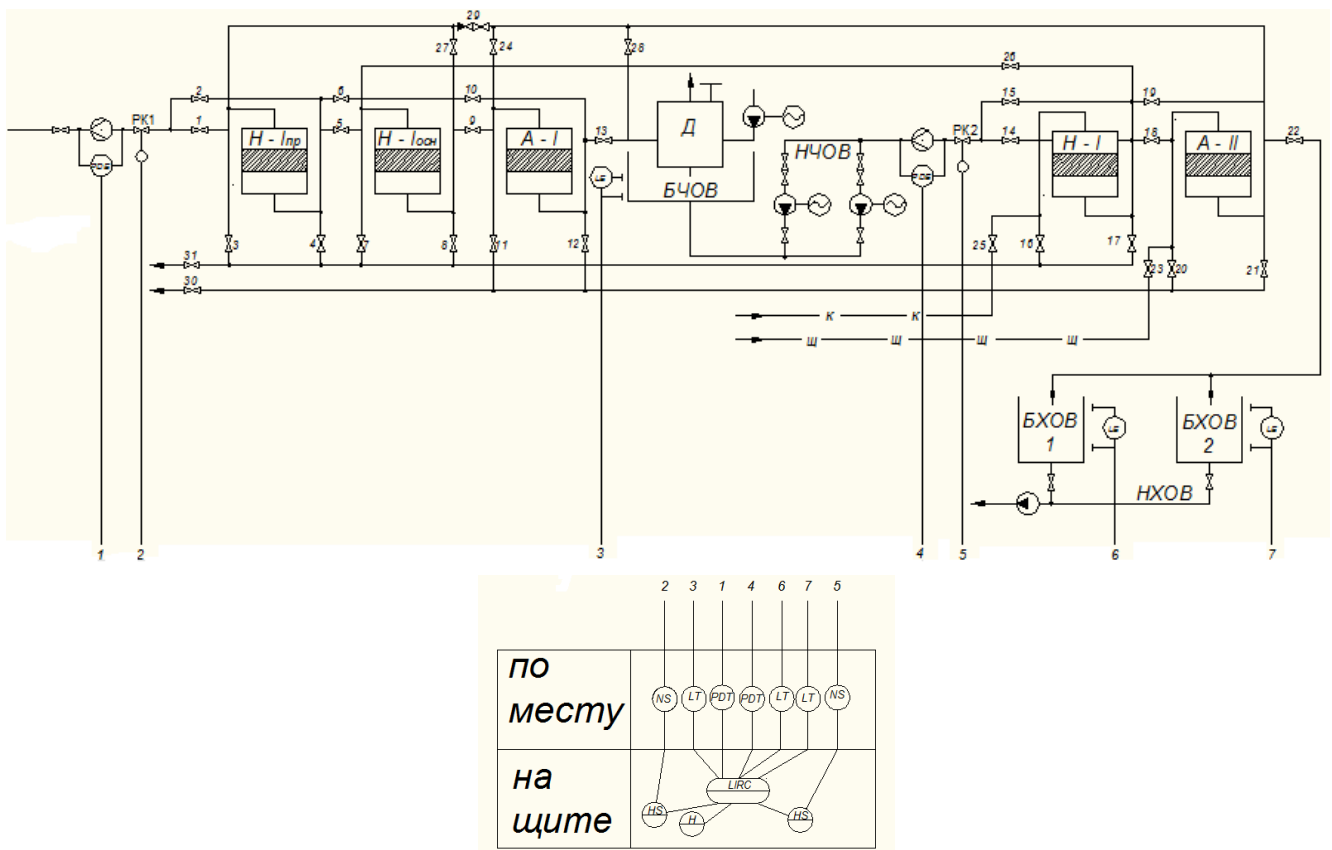


Рисунок 3 – Функциональная схема системы управления

Где Н – задатчик ручного управления; HS – переключатель; PDT – датчик перепада давлений (диафрагма в комплекте с датчиком давления); LT – преобразователь уровня (датчик гидростатического давления).

Система управления автоматизированных установок с блочным включением фильтров должна предоставлять оператору следующую информацию при отсутствии нарушений технологических параметров: с помощью показывающих (регистрирующих) приборов: расходы обрабатываемой, взрыхляющей воды, а также разбавляющей воды; уровень в баке декарбонизатора и баках обессоленной воды; электропроводности фильтратов, концентрация регенерационных растворов; давление обрабатываемой воды до фильтра и за каждым фильтром; давление на стороне нагнетания насосов-дозаторов; с помощью световых табло: название проводимой операции; номер занятого регенерационного узла; невключение задатчиков времени.

В схеме используется один свободно-программируемый контроллер, на который можно завести два независимых контура регулирования (первой и второй ступени фильтров). 1 контур: аналоговые сигналы от датчика уровня в баке частично обессоленной воды БЧОВ и сигнал расхода перед регулирующим клапаном РК1 подаются на ПЛК, откуда подается сигнал на РК1. 2 контур: аналоговые сигналы от датчиков уровня в баках химически обессоленной воды БХОВ1 и БХОВ2 и сигнал расхода после насоса частично обессоленной воды НЧОВ подаются на ПЛК, откуда подается сигнал на РК2.

При нарушениях технологических режимов, кроме вышеперечисленной информации, оператору предоставляются сигналы, указывающие на нарушение технологического процесса и места нарушения. Сигнал нарушения высвечивается на табло аварийной сигнализации и сопровождается звуковым сигналом.

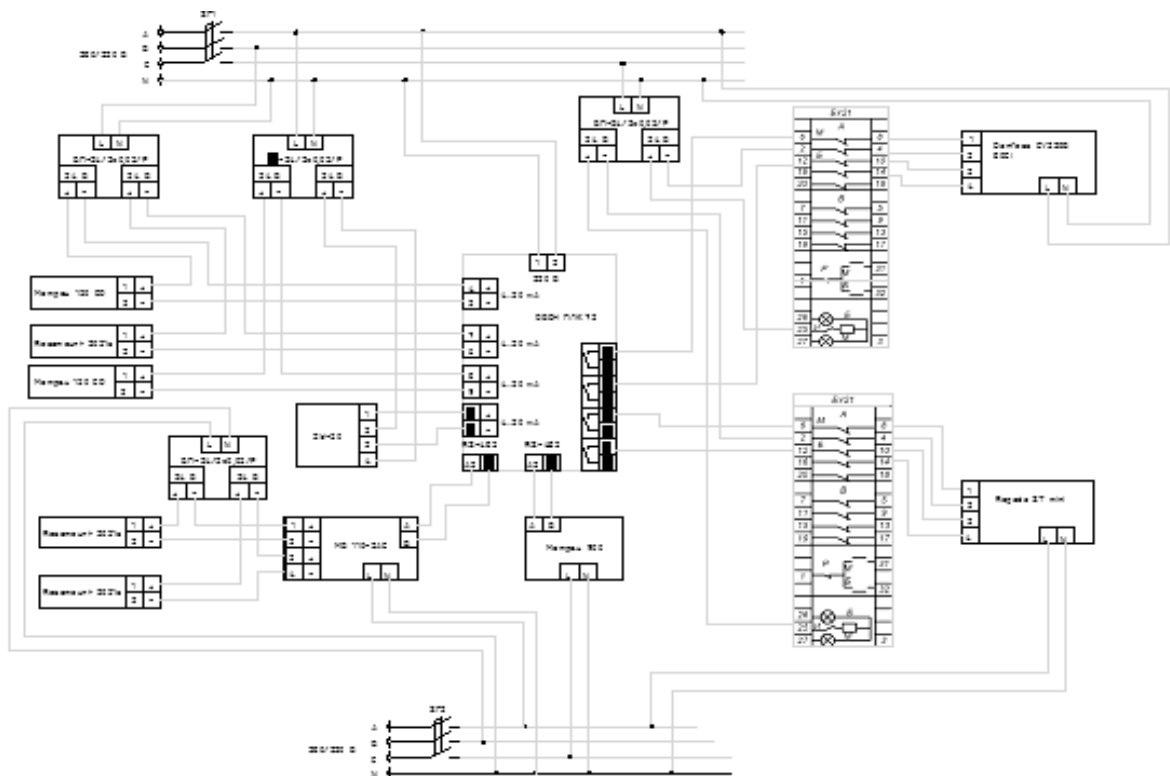


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема системы управления

На рис. 4 изображена принципиальная электрическая схема системы управления. В данной системе сигнал от датчиков уровня (Rosemount 3051S) и давления (Метран 150 CD), подключенных через блок питания (БМ-24/2x0,05/р) к сети, поступают на аналоговые входы программируемого логического контроллера (ОВЕН ПЛК 154), подключенного к сети. Задающее устройство ЗУ-50, подключенное к аналоговым входам ПЛК предназначено для

применения в качестве выносного токового задатчика, как вспомогательного блока к регулирующим приборам, в том числе и микропроцессорным. Вход ПЛК RS-485 используется для подключения регистратора (Метран 900), предназначенного для сбора, обработки и регистрации информации, поступающей от датчиков с выходным унифицированным сигналом, как альтернатива бумажным самописцам. Ко входу RS-485 также подключен модуль аналоговых входов (МВ 110-2АС), который предназначен для преобразования измеряемых аналоговых сигналов, полученных от датчиков уровня, в цифровой код и передачи результатов измерений. С дискретных выходов ПЛК сигнал поступает через блок управления (БУ-21), подключенный через блок питания к сети, на клапан с сервомотором Danfoss EV 220В 80С1.

Данная система управления позволяет упростить контроль качества воды, снижается расход реагентов на регенерацию и воды на собственные нужды за счет проведения совместных регенераций одноименных фильтров первой и второй ступени. Также преимуществом схемы является возможность реализации комплексной автоматизации, что в свою очередь, определяет вмешательство человека в работу как минимальное возможное.

### Литература

1. Каталог продукции «Метран».
2. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / С.С. Клюев [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Паспорт микропроцессорного регулятора «ОВЕН ПЛК 150».
4. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

УДК 621.039

## СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ПИТАНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Захаркевич А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

При эксплуатации АЭС решающее значение имеет безопасность работы реакторной установки. Один из основополагающих принципов, на котором базируется безопасность работы реакторной установки – это ограничение последствий возможных аварий. При нормальной работе блока АЭС на мощности тепловая энергия, вырабатываемая в реакторе, отводится через парогенератор (ПГ) во 2 контур, где она срабатывается на турбогенераторе. После останова реактора мощность быстро снижается до долей процента, но за счет запаздывающих нейтронов, радиоактивного распада продуктов деления и аккумулирующей способности материалов активной зоны тепловыделение продолжается.

В процессе отвода тепла от активной зоны реактора важное значение имеет система питательной воды, осуществляющая подачу воды в парогенераторы. Поэтому возникновение отклонений в схеме подачи питательной воды в парогенераторы создает условия для нарушения нормального теплоотвода от 1 контура. При невозможности нормальной подпитки парогенераторов проектом предусмотрена подача питательной воды в ПГ от специальной системы, именуемой системой аварийной подпитки ПГ, которая тем самым создает условия для расхолаживания реакторной установки.

Система аварийной подпитки парогенератора предназначена для подачи обессоленной воды в парогенераторы в режимах обесточения энергоблока и других аварийных режимах на энергоблоке с реактором ВВЭР-1000, для обеспечения аварийного снятия остаточных тепловыделений и расхолаживания реакторной установки (РУ) в режиме обесточения энергоблока, а также при авариях и неисправностях системы питательной воды ПГ второго контура.

В основу проекта аварийной подачи питательной воды в парогенераторы ПГ положены следующие критерии и требования, предъявляемые к ней со стороны реакторной установки:

- обеспечить подачу воды не менее чем в два парогенератора;
- обеспечить подачу питательной воды в ПГ с момента аварии за промежуток времени не более 2 минут;
- обеспечить подачу питательной воды в ПГ 150 м<sup>3</sup>/час при давлении в ПГ 64 кгс/см<sup>2</sup>;
- создание необходимого запаса обессоленной воды исходя из условий обеспечения расхолаживания блока через БРУ-А до давления в первом контуре 15 кгс/см<sup>2</sup>;
- она должна допускать возможность опробования (поканально) при работе блока на мощности и при этом не терять своих функциональных свойств;
- она должна иметь трехканальную структуру, т.е. соответствовать структуре остальных систем безопасности;
- должна иметься возможность вывода ее в ремонт в составе одного канала безопасности (на время не более 72 часов при работе РУ согласно требований Технологического регламента безопасной эксплуатации).

Критерием выполнения функций является обеспечение подачи питательной воды в ПГ, а также выполнение требования со стороны РУ – обеспечить подачу обессоленной воды в ПГ с расходом не менее: 150 м<sup>3</sup>/час при давлении в ПГ 64 кгс/см<sup>2</sup>; 125 м<sup>3</sup>/час при давлении в ПГ 70 кгс/см<sup>2</sup>; 80 м<sup>3</sup>/час при давлении в ПГ 86 кгс/см<sup>2</sup>.

Система аварийной подпитки ПГ состоит из трех независимых каналов каждый из которых в отдельности обеспечивает расхолаживание энергоблока. Каждый канал системы включает в себя следующее технологическое оборудование:

- бак запаса химобессоленной воды (ХОВ) емкостью 500 м<sup>3</sup>;
- аварийный питательный электронасосный агрегат;



– трубопроводы, арматуру, дроссельные шайбы и КИП.

У парогенераторов ПГВ-1000М, применяющихся в ВВЭР-1000 с РУ В-320, в отличие от более ранней конструкции ПГВ-1000 предусмотрены специальные патрубки для подвода питательной воды от аварийных питательных насосов.

В проекте унифицированного ВВЭР-1000 (В-320) для подачи аварийной питательной воды в парогенераторы применяются как электронасосные агрегаты типа ПЭА 150-85 Бердянского завода «Южгидромаш» так и насосы типа ЦН 150-90Г.

Насосы размещены каждый в отдельном помещении, чтобы внутрисистемные аварии (например, вызванные пожаром или падением каких-либо тяжелых предметов) одного из каналов не привели к отказу другого канала.

Таблица 1 – Сравнительные технические характеристики насосов

Тип насоса	ПЭА 150-85	ЦН 150-90Г
Подача, м <sup>3</sup> /ч	150	150
Напор, м вод. ст.	910	910
Температура перекачиваемой среды, °С	Б-150	Б-150
Допустимый кавитационный запас, м	11	11
Расчетное давление всасывания, не более, кгс/см <sup>2</sup>	10	
Номинальная частота вращения, об/мин	2970	
Мощность двигателя, кВт	800	800
Напряжение питания, кВ	6,3	
Тип электродвигателя	2АЗМ1-800/6000	
Смазка подшипников	Т-22, Тп-22	

Аварийный питательный насос (АПЭН) типа ПЭА 150-85 - центробежный, горизонтальный, однокорпусный, секционный, семиступенчатый, с гидравлической пятой, подшипниками скольжения с кольцевой смазкой, концевыми уплотнениями торцевого типа. Производительность насоса выбрана из условия обеспечения расхолаживания РУ в аварийных ситуациях.

Насос ЦН 150-90Г горизонтальный, однокорпусный, семиступенчатый. Состоит из входной и напорной крышек, ротора, включающего в себя вал, рабочие колеса, защитные рубашки вала, разгрузочный диск. Схема обвязки приведена на рисунке 1.

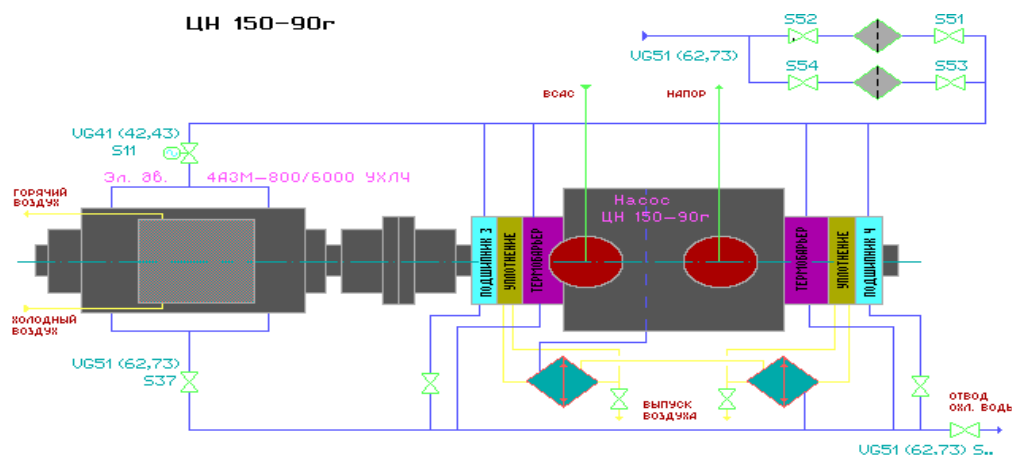


Рисунок 1 – Схема обвязки насоса ЦН 150-90Г

Для охлаждения узлов насосного агрегата используется техническая вода ответственных потребителей. Каждый агрегат подключен к своей системе технической воды с  $P = 4 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ . Выносные теплообменники обеспечивают нормальный режим работы торцевых уплотнений при перекачивании насосами питательной воды с повышенной температурой ( $164^\circ\text{C}$ ).

Бак аварийного запаса обессоленной воды предназначен для хранения аварийного запаса химобессоленной воды. Представляет из себя сварную цилиндрическую емкость, изготовленную из стали марки Ст3, изнутри покрытую шпатлевкой типа ЭП-00-01. Объем каждого бака –  $500 \text{ м}^3$ .

Дроссельные шайбы, расположенные на напоре аварийных питательных насосов, предназначены для ограничения расхода в рабочей зоне характеристики насоса при недопустимых отклонениях подачи питательной воды в ПГ.

Ограничители течи расположены на трубопроводах подачи аварийной питательной воды непосредственно перед ПГ и предназначены для уменьшения расхода пара, вытекающего из ПГ при разрыве трубопровода между ограничителем и обратным клапаном.

При работе энергоблока система аварийной подпитки парогенераторов должна находиться в дежурстве, т.е. состоянии полной готовности к выполнению своих функций в случае возникновения аварии.

При неисправности двух и более каналов редукционной установки (РУ) должна быть переведена в «холодное» состояние.

Автоматическое регулирование охватывает следующие параметры:

- поддержание уровня в ПГ №1,2,3,4 – 1700 мм;
- поддержание расхода в ПГ №2,4 –  $75 \text{ м}^3 / \text{час}$ .

Регуляторы подключаются к регулируемому органу в зависимости от условий формирования защит и блокировок. Для автоматического регулирования используется аппаратура типа «Каскад-2».

При аварии основным видом управления для насосов является автоматическое управление по командам защит САОЗ, реализуемое через аппаратуру ступенчатого пуска, воздействующего на комплекс технических средств. Включение системы аварийной подпитки парогенераторов автоматически происходит по следующим сигналам:

- обесточению, т.е. снижению напряжения менее  $0,25 U_{\text{ном}}$  на VI ступени ПСП;
- разрывной защите 1 контура  $t_s10$ , когда разность между  $t$  насыщения теплоносителя 1 контура и  $t$  в горячих петлях менее  $10^\circ\text{C}$ ;
- разрывной защите 1 контура  $P_{\text{го}} > 1,3 \text{ кгс} / \text{см}^2$ , когда давление в гермооболочке более  $1,3 \text{ кгс} / \text{см}^2$ ;
- разрывной защите 2 контура  $t_s75$ , при уменьшении давления в паропроводе до  $50 \text{ кгс} / \text{см}^2$  и увеличении разности температур насыщения 1 и 2 контуров до  $75^\circ\text{C}$ .

#### Литература

1. Воронин Л. М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС. – М.: Атомиздат, 1981;
2. Зорин В.М. Атомные электростанции. Основной технологический процесс. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 304с.
3. Маргулова Т. Х. Некоторые основополагающие концепции проектирования атомных электростанций с водным теплоносителем. – М.: Труды МЭИ № 660, 1993.
4. Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электрические станции./Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 424с.
5. Тевлин, С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000./С.А. Тевлин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 358с.
6. Учебное пособие: Система аварийного питания парогенераторов, ИВАНОВО-2002г.153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, тел: (0932)-385778 e-mail: npp@aes.ispu.ru.

УДК 621.3

## ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Воронов Е.О., Сорокин В.В., Рябиченко Е.Н., Соколовская Н.Ю.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Кашеев В.П.

Ядерные технологии имеют огромный потенциал, позволяющий обеспечить непрерывно возрастающую потребность в энергии, не увеличивая при этом выбросы в атмосферу углекислого газа и других загрязняющих веществ.

Но современные технологии уран-плутониевого топливного цикла имеют недостатки. Необходимо существенно снизить стоимость ядерной энергетики и повысить ее безопасность путем совершенствования составов топлива и технологий ядерного топливного цикла. Только переход на другой, более дешевый и безопасный ядерный топливный цикл способен усилить конкурентоспособность ядерной энергетики.

Сегодня 16 % электрической энергии в мире производится на атомных электрических станциях (АЭС). Прогнозируется рост потребления электроэнергии к 2020 году на 75 % с 12.8 миллиардов кВт.ч до 22.4 миллиардов кВт.ч, а современная ядерная энергетика на уран-плутониевом топливном цикле не может обеспечить увеличения мощностей даже на 5 % из 75 % планируемых к 2020 году. Поэтому выброс парниковых газов к 2020 году увеличится на 40 %. Современная ядерная энергетика на уран-плутониевом топливном цикле при равных мощностях:

- опаснее энергетики на органическом топливе;
- порождает большой объем отходов на 1 МВт вырабатываемой мощности;
- обеспечивает распространение ядерного оружия.

Но атомная энергетика необходима, поскольку не производит выбросов  $\text{CO}_2$ ;  $\text{NO}_2$ ;  $\text{IO}_2$ ;  $\text{CO}$ ;  $\text{NO}$ ;  $\text{C}$  и так далее. Следовательно, свойства современной ядерной энергетики необходимо принципиально изменить. Это можно осуществить путем перехода на уран-ториевый топливный цикл. Основной вклад в стоимость электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, вносит капитальная составляющая, которая в свою очередь высока из-за проблем высокой ядерной опасности. В США утвержден стандарт “в десять раз снизить вероятность аварийных ситуаций, связанных с радиоактивным загрязнением от работающих АЭС за период равный 50 годам, то есть менее одного случая за 50 лет работы АЭС, путем перехода на топлива, содержащие торий и переход на модульное оборудование, полностью производимое и контролируемое на заводах. А на площадках строящихся АЭС только сборка готового оборудования”.

Топливо для новых реакторов PWR планируется изготавливать с содержанием тория. Запасы тория только в рудах редкоземельных элементов в 3 раза превышают все запасы урана на Земле, но эти запасы урана в водах морей и океанов ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ). Нарботка урана-233, которого нет в природе, может достичь величины 90% от загружаемого тория-232 в зоны ядерных реакторов. Таким образом, реальный топливный потенциал ядерной энергетики увеличивается в 100 раз и ядерная энергетика может стать базовой вместо сегодняшней базовой энергетики на органическом топливе [1].

Уран-ториевое топливо позволяет организовать длинные компании топлива до 20 лет и более за счет повышения глубины выгорания в 5-7 раз. Повышение глубины выгорания топлива в несколько раз позволяет сократить производство тепловыделяющих сборок и во столько же раз и снизить число захораниваемых сборок, соответственно. Для оболочек уран-ториевого топлива не нужен дорогой цирконий ядерной чистоты. Оболочки можно изготовить из стали. Соответственно нет опасности возникновения пароциркониевой реакции. Нет препятствий для производства топливных таблеток из смеси оксидов урана и тория на существующих заводах по производству топлива из оксидов урана [2].

В уран-ториевом топливе нарабатывается нептуния в 100 раз, плутония в 2000 раз, америция в 100000 раз, кюрия в 1000000 раз меньше чем в урановом топливе. Выгоревшее

топливо со столь малым содержанием плутония и других младших актиноидов не требует захоронения в геологических породах и может храниться в обычных приповерхностных хранилищах.

Использование тория вместо инертной матрицы в современном плутониевом топливе позволяет коренным образом улучшить нейтронно-физические характеристики активных зон ядерных реакторов на плутонийсодержащем топливе [3].

Более высокая надежность и безопасность ядерного реактора достигается за счет:

–снижения начальной избыточной реактивности в активной зоне, так как делящиеся изотопы урана-233 нарабатываются в ней в процессе кампании из тория-232;

–большого в 2-3 раза водо-уранового отношения в активных зонах реакторов типа ВВЭР;

–более слабого, чем у урана взаимодействия тория с водой и паром;

–более высокой температуры плавления оксида тория;

–более высокой теплопроводности оксида тория;

–более высокой радиационной стойкости оксида тория;

–более высокой коррозионной стойкости оксида тория (на 2 порядка выше, чем у оксида урана);

–более низкого коэффициента диффузии ксенона в поликристаллической смеси оксидов тория и урана (на порядок ниже, чем в поликристаллическом диоксиде урана).

Отработанное топливо: оксид урана – оксид тория лучшая форма ядерных отходов, чем отходы традиционного топлива диоксидов урана, так как диоксид тория – это самый высокий окисел, а диоксид урана окисляется водой до триоксида урана ( $UO_3$ ).

При использовании торийсодержащего топлива возникают более благоприятные условия для предотвращения хищения делящихся материалов из-за наработки урана-232, который имеет период полураспада 72.6 года, излучает жесткие гамма-кванты (26 МэВ) и выделяет высокую тепловую энергию, недопустимую для ядерного оружия (сегодня это решающее преимущество для достижения недоступности отработанного ядерного топлива) [4].

Высокая химическая стабильность торийсодержащего топлива усложняет его переработку после облучения, что также повышает возможности обеспечения режима нераспространения ядерного оружия. Использование ядерного топлива из смеси оксидов плутония и тория, позволяет сократить запасы накопленного плутония (~2100 тонн) путем выжигания его в активных зонах реакторов типа PWR и ВВЭР. При глубине выгорания топлива 70 МВт сут/кг т.а. выжигается весь плутоний-239, а далее выжигается уран-233 и плутоний-241.

Характер изменения коэффициентов реактивности у такого топлива такой же, как и у топлива  $UO_2$ . Скорость выжигания плутония в смеси с торием выше в 2.5 раза, чем в смеси с ураном. Высокотемпературные ядерные реакторы типа HTGR более экономичны, чем PWR с уран-ториевым топливным циклом. Открытый ядерный топливный цикл, планируемый в PWR и HTGR, исключает основной источник загрязнения окружающей среды – радиохимический завод. Отработанное топливо продолжает находиться в тепловыделяющих сборках. То есть не происходит размазывание радиоактивности по огромным площадям в виде растворов и газов при штатных и нештатных выбросах. Исчезают все проблемы, связанные со строительством радиохимических заводов: финансирование и материальные затраты на строительство, эксплуатацию заводов, зарплату, электроэнергию, тепло, водоснабжение. На огромное количество защитного оборудования и техники, химических реагентов, агрессивных, ядовитых, горючих и взрывоопасных (кислот, щелочей, органических жидкостей) и т.д. Исчезает необходимость закачивания в землю трития, устраняется проблема утилизации радиоактивного йода, жидких и газообразных отходов.

Сроки контролируемого хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) – 60 лет, почти такие же как и для выделенных и отвержденных высокоактивных отходов. В то же время хранилище (могильник) для ОЯТ – это компактное “месторождение” урана и плутония. Сопоставление стоимости открытого и замкнутого ядерного топливного цикла

(ЯТЦ) показало, что в США замкнутый ЯТЦ дороже открытого в 4.5 раза. Основное назначение обедненного урана – изготовление оболочек бронебойных снарядов и авиационных бомб, предназначенных для поражения подземных бункеров (бомба проходит сквозь бетон толщиной до 6 метров или земляной грунт толщиной до 30 метров).

Необходимо создавать безопасные и технологически легко изготавливаемые ядерные реакторы, чтобы любое государство могло развернуть собственную ядерную энергетику примерно за период 20 лет. В частности, США разрабатывает несколько технологий реакторов PWR на уран-ториевом топливном цикле. После испытаний шести типов PWR до 2030 года будут отобраны два лучших, которые пойдут в серийное производство. За 20 лет, с 2030 по 2050 годы, в США будут введены в эксплуатацию 300 блоков PWR-100 с торий содержащим топливом, отвечающих требованиям МАГАТЭ и СБ ООН к широкомасштабной ядерной энергетике. Согласно им необходимо использовать только ядерные топливные циклы, гарантирующие обеспечение режима нераспространения. Поэтому программа разработки любого ядерного топливного цикла должна включать анализ риска распространения ядерного оружия. То есть ядерный топливный цикл определяет всю деятельность, связанную с производством ядерной энергии от добычи урановых руд и руд всех элементов, применяемых в ядерной энергетике, до захоронения отходов.

Потребление природного урана в оптимизированном варианте реактора ВВЭР-1200:

- природный уран – 245.0 т/год;
- свежее топливо – 23.89 т/год.

Глубина выгорания топлива на ВВЭР-1200 составляет ~50 МВт сут/кг т.а. за счет использования тория-232. Повышение глубины выгорания торийсодержащего топлива изменяет изотопный состав выгоревшего топлива, обеспечивая режим нераспространения из-за снижения в нем количества делящихся изотопов.

#### **Выводы**

Открытый (однократный) топливный цикл наилучшим образом соответствует критериям экономичности, безопасности, нераспространения.

#### **Литература**

1. A. Galperin, M. Todosow. Thorium based fuel designed to reduce the proliferation potential and waste disposal requirements of light water reactors – Proceedings of OECD/NEA ARWIF-2001 conference – Advanced Reactors with Innovative Fuels, Chester, UK, October 22-24, 2001.
2. Juhn P. Thorium fuel cycle options for advanced reactors. Overview of IAEA activities. Villigen, Switzerland/NEA, 1998.
3. Weaver K.O., Herring J.J. Performance of Thorium-based mixed-oxide for the consumption of Plutonium in current and advanced reactors. Nuclear technology, 2003, v. 143, №1, p. 22-36.
4. Маршалкин В.Б., Трутнев Ю.А. Возможности торий-уранового топливного цикла в снижении риска распространения расщепляющих материалов. Ж. Альтернативная энергетика и экология, 2007, №11, с. 23-24.

УДК 620.93:681.515

## ПРОЕКТ ПРОМЫШЛЕННО – ОТПИТЕЛЬНОЙ ТЭЦ С РАЗРАБОТКОЙ САР НАГРУЗКИ БАРАБАННОГО КОТЛА

Волосач Т.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) — разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов).

В данной работе рассмотрим САР нагрузки барабанного котла.

Принципиальная схема технологического процесса, протекающего в барабанном паровом котле, показана на рис. 1.

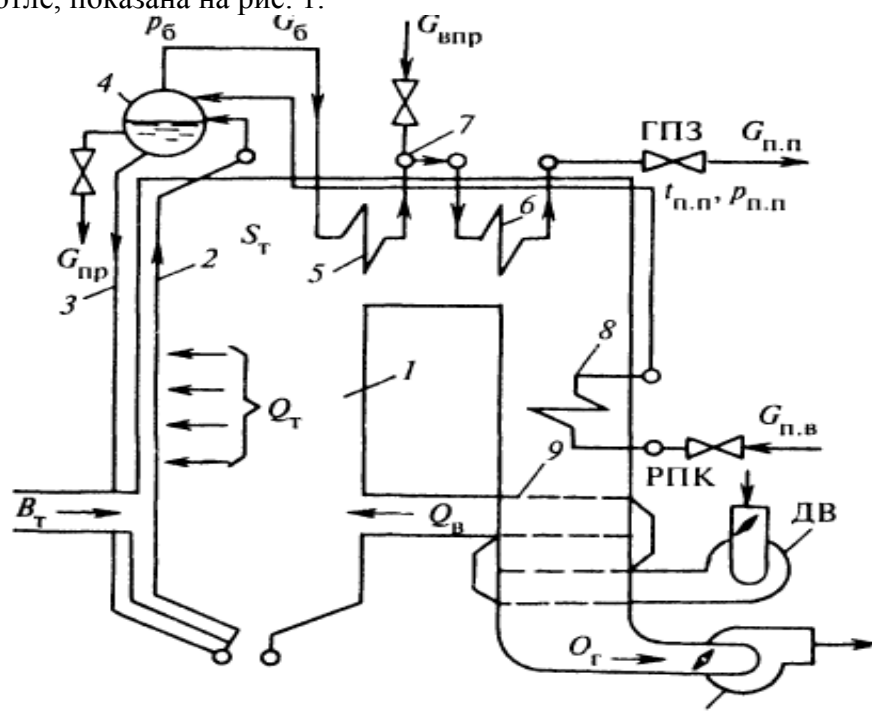


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема барабанного котла  
 ГПЗ – главная паровая задвижка; РПК – регулирующий питательный клапан; 1 – топка; 2 – циркуляционный контур; 3 – опускные трубы; 4 – барабан; 5, 6 – пароперегреватели; 7 – парохладитель; 8 – экономайзер; 9 – воздухоподогреватель

Основными регулируемыми величинами котла служат расход перегретого пара  $G_{п.п}$  и температура  $t_{п.п}$ . Расход пара является переменной величиной, а его давление  $p_{п.п}$  и температуру поддерживают вблизи постоянных значений в пределах допустимых отклонений, что обусловлено требованиями заданного режима работы турбины или иного потребителя тепловой энергии.

Система управления барабанным котлом в целом включает автономные АСР процессов горения и парообразования, температуры перегрева пара, питания и водного режима.

Подробнее рассмотрим САР нагрузки барабанного котлоагрегата.

Любая система регулирования должна поддерживать регулируемую величину с наименьшими отклонениями от заданного значения. На практике чаще всего требуемая точность работы может быть достигнута за счет повышения чувствительности регулятора к отклонениям регулируемой величины. Однако это может привести к возникновению колебаний в замкнутой системе автоматического регулирования и потере устойчивости.

Регулирование тепловой нагрузки, характеризуемой давлением, расходом и температурой перегретого пара, требует совместного и согласованного изменения расхода топлива  $V_T$  и расхода питательной воды  $Q_T$ . В свою очередь температурный режим зависит от соотношения расходов воды и топлива, и влиять на него также можно посредством любого из регулирующих воздействий.

В качестве основного сигнала, характеризующего фактическую тепловую нагрузку котла, применяют расход питательной воды  $Q_T$  и расход топлива  $V_T$  (на газомазутных установках).

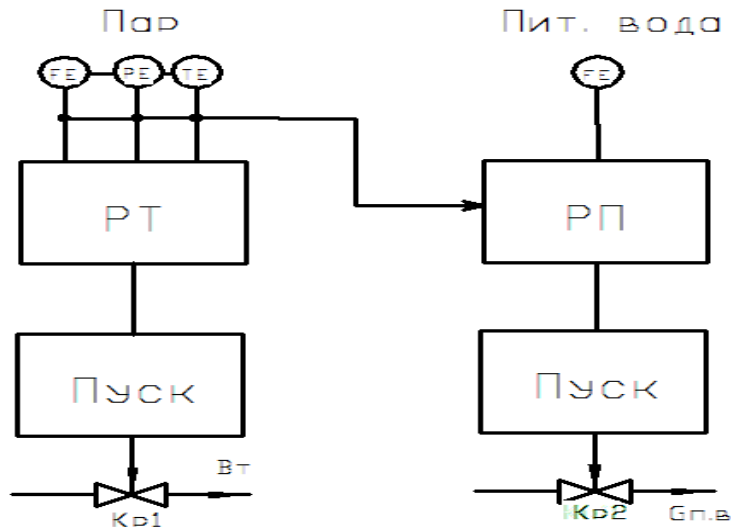


Рисунок 2 – Структурная схема регулирования нагрузки барабанного котла:  
РП – регулятор питания, РТ – регулятор топлива.

Регулирование тепловой нагрузки осуществляется по соотношению расходов тепло-топливо. Тепловую нагрузку поддерживает регулятор топлива, а температурный режим – регулятор питания.

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим структуру узлов контроля и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

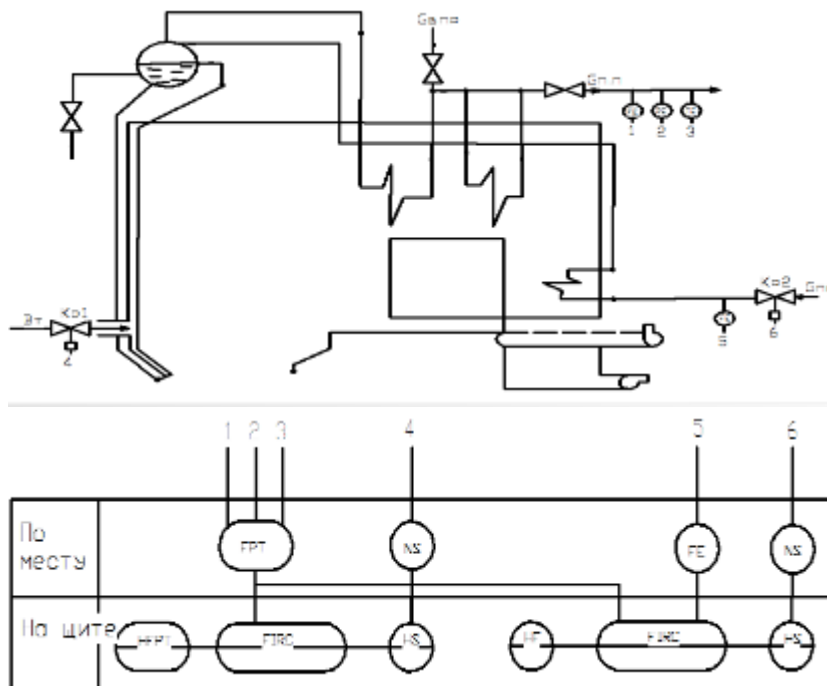


Рисунок 3 – Функциональная схема регулирования нагрузки барабанного котла

**Моделирование САР нагрузки барабанного котлоагрегата**

Таблица 1

Параметр	Значение
Коэффициент усиления опережающего участка объекта регулирования	$K_{оп} = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{T}/\text{ч}$
Большая постоянная времени опережающего участка	$T_{оп} = 14,2 \text{ с}$
Меньшая постоянная времени опережающего участка	$\sigma_{оп} = 2 \text{ с}$
Коэффициент усиления инерционного участка объекта регулирования	$K_{ин} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{T}/\text{ч}$
Время по Кулакову	$T_k = 21,5 \text{ с}$
Время запаздывания	$\tau_y = 29,4 \text{ с}$
Передаточная функция крайнего внешнего возмущения.	$W_{в}(p) = \frac{5}{30p + 1}$

АСР нагрузки барабанного котлоагрегата будет представлять собой каскадную САР:

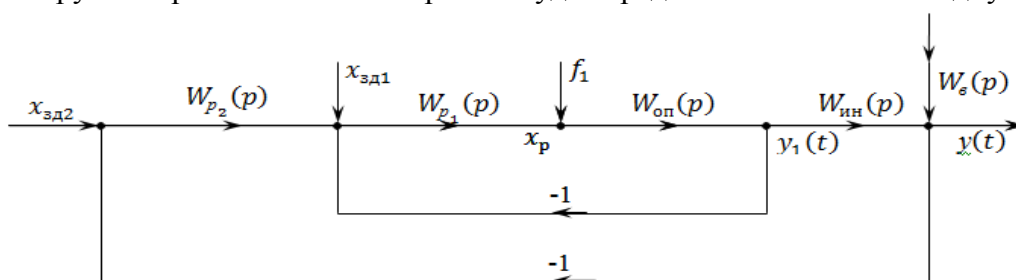


Рисунок 4 – Схема моделирования АСР нагрузки

где  $x_{зд1}$ ,  $x_{зд2}$  – заданные значения промежуточной и основной регулируемых величин соответственно;  $y(t), y_1(t)$  – основная и промежуточная регулируемые величины соответственно;  $f_1$ ,  $f_2$  – внутреннее и внешнее возмущения соответственно;  $\varepsilon_1(t)$ ,  $\varepsilon(t)$  – ошибки регулирования соответственно внутреннего и внешнего контуров.

Динамика опережающего участка представлена в виде инерционного звена второго порядка:

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\sigma_{оп}p + 1)} = \frac{2,2}{(14,2p + 1)(2p + 1)} \tag{1}$$

Динамика инерционного участка представлена в виде инерционного звена первого и второго порядков с запаздыванием:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} \cdot e^{-\tau_y p}}{(T_k p + 1)} = \frac{1 \cdot e^{-29,4p}}{(21,5p + 1)} \tag{2}$$

$W_{в}(p)$  – передаточная функция крайнего внешнего возмущения:

$$W_{в}(p) = \frac{K_{в}}{T_{в}p + 1} = \frac{5}{30p + 1} \tag{3}$$

$W_{p1}(p)$  – передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{p1}(p) = \frac{K_{p1}(T_{и1}p + 1)}{T_{и1}p} \tag{4}$$



$W_{p_2}(p)$  – передаточная функция корректирующего регулятора:

$$W_{p_2}(p) = \frac{K_{p_2} (T_{и_2} p + 1)}{T_{и_2} p} \tag{5}$$

Передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{p_1}(p) = \frac{2,647 \cdot (7,04p + 1)}{7,04p} \tag{6}$$

Передаточная функция корректирующего регулятора:

$$W_{p_2}(p) = \frac{0,366 \cdot (21,5p + 1)}{21,5p} \tag{7}$$

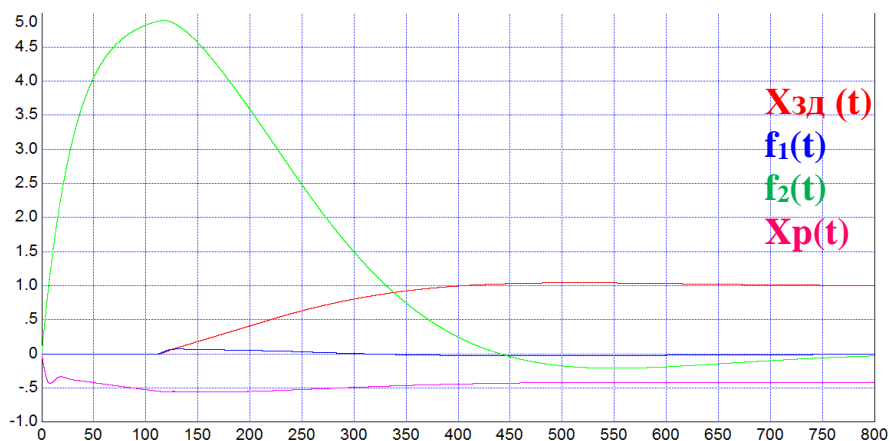


Рисунок 5 – Графики переходных процессов

Таблица 2 – Прямые показатели качества

	$t_{п}, c$	$A_{max1}^+$	$A_{max1}^-$	$\sigma_{max}, \%$	$\psi$
$x_{зд}(t)$	650	0,036	–	4,6	1
$f_1(t)$	296,7	0,037	0	–	1
$f_2(t)$	770	4,69	0,14	–	1
$X_p(t)$	–	–	0,43	–	–

**Выводы**

В результате работы составлены структурная и функциональная схемы автоматизации САР нагрузки барабанного котлоагрегата. При помощи математической схемы моделирования рассчитаны параметры оптимальной динамической настройки регуляторов. Из графика видно, что система полностью отрабатывает внутренние и внешние возмущения, что от нее и требуется.

**Литература**

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования. – Мн.: «Вышэйшая школа», 1984. – 192 с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.
3. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

УДК 621.3

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННО – КАЧЕСТВЕННОГО ДОЗИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ХИМРЕАГЕНТАМИ

Антонов М.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Водно-химический режим электростанции – это совокупность мероприятий, обеспечивающих надежную и экономичную эксплуатацию основных и вспомогательных агрегатов, соприкасающихся с водой, паром и конденсатом. При организации водно-химического режима ставится задача создания комплекса условий, замедляющих интенсивность коррозионных процессов и процессов образования внутренних отложений в котле и проточной части турбины, уменьшающих скорость роста температуры стенки наиболее теплонапряженных поверхностей нагрева водопарового тракта котла и турбины, увеличивающих длительность межпромывочных периодов работы основного оборудования и межрегенерационного периода работы фильтров конденсатоочистки.

Гидразинная обработка теплоносителя энергетических установок является радикальной мерой предупреждения кислородной коррозии и коррозионного растрескивания металла котлов, паровых турбин, конденсаторов и оборудования водоконденсатного тракта, а также снижения содержания окислов железа, меди и других продуктов коррозии в конденсатах, питательной и котловой водах и паре котлов.

Гидразинная обработка теплоносителя устраняет или ослабляет:

- коррозию поверхностей котлов и оборудования конденсатно-питательного тракта, выполненных из стали;
- коррозию медьсодержащих сплавов теплопередающих поверхностей конденсатного тракта;
- подшламовую и пароводяную коррозию металла элементов котла, подвергающихся высоким тепловым нагрузкам;
- коррозию конструкционных материалов проточной части турбины.

Гидразинную обработку ведут непрерывно во всасывающий трубопровод питательного насоса, процесс ввода регулируется автоматически по импульсу от расхода питательной воды. Дозирование производят с некоторым избытком. Остатки гидразина, не вступившие в реакцию с кислородом или оксидами металла, практически полностью разлагаются в котле с образованием аммиака и азота.

Обогащение питательной воды свободной углекислотой  $\text{CO}_2$  приводит к резкому снижению показателя среды рН, что способствует возникновению и активному протеканию электрохимической коррозии котлов и трубопроводов конденсатного тракта. Снизить скорость протекания коррозионных процессов можно повышением показателя рН выше значения 8,8.

Поэтому основная задача аминирования это регулирование величины рН в соответствии с требованиями, диктуемыми конструкционными материалами пароводяного тракта.

В связи с тем, что в тепловой схеме ТЭС аммиак и углекислота непрерывно удаляются в деаэраторах, с отсосами паровоздушной смеси из паровых камер конденсаторов и теплообменных аппаратов, для поддержания показателя рН питательной воды необходима непрерывная подача аммиака в питательный контур.

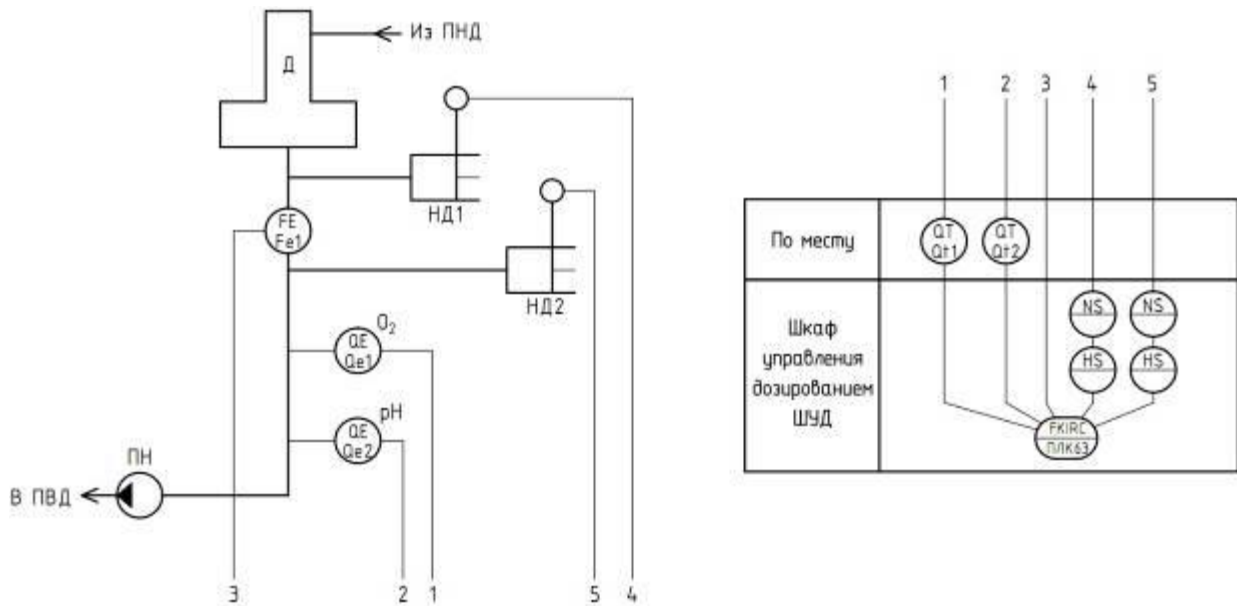


Рисунок 1 – Схема автоматизации дозирования питательной воды химреагентами

Автоматизация дозирования химреагентами в питательную воду реализована на свободно программируемом контроллере ПЛК63, расположенном в шкафу управления дозированием ШУД. Контроллер обрабатывает данные поступающие с датчика расхода Fe1, pH-метра Qe2 и анализатора кислорода Qe1 и формирует сигналы на включение исполнительного механизма в автоматическом режиме. Включение исполнительного механизма также реализовано и в ручном режиме по средствам кнопок, установленных в шкафу ШУД.

Моделирование АСР дозирования питательной воды химреагентами

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Значение
Коэффициент усиления объекта для опережающего участка	$\frac{T}{\tau}$ $K_{оп} = 1,2 \frac{T}{\tau}$
Большая постоянная времени опережающего участка	$T_{оп} = 11 \text{ с}$
Меньшая постоянная времени опережающего участка	$\sigma_{оп} = 1,1 \text{ с}$
Коэффициент усиления объекта для инерционного участка	$K_{ин} = 1$
Большая постоянная времени инерционного участка	$T_{ин} = 80 \text{ с}$
Меньшая постоянная времени инерционного участка	$\sigma_{ин} = 16 \text{ с}$
Время запаздывания	$\tau_y = 20 \text{ с}$

АСР дозирования питательной воды химреагентами будет представлять собой каскадную САР:

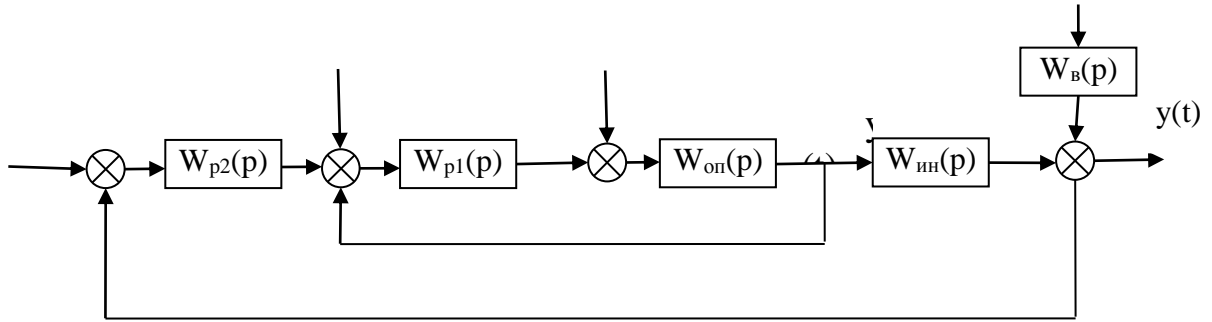


Рисунок 2 – Схема моделирования АСР дозирования питательной воды химреагентами

где

$x_{зд1}, x_{зд2}$  – заданные значения промежуточной и основной регулируемых величин соответственно;

$y(t), y_1(t)$  – основная и промежуточная регулируемые величины соответственно;

$f_1, f_2$  – внутреннее и внешнее возмущения соответственно;

Динамика опережающего участка представлена в виде инерционного звена второго порядка:

$$W_{он}(p) = \frac{K_{он}}{(T_{он}p + 1)(\sigma_{он}p + 1)} = \frac{1,2}{(11p + 1)(1,1p + 1)}$$

Динамика инерционного участка представлена в виде инерционного звена первого и второго порядков с запаздыванием:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин}e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)} = \frac{K_{ин}e^{-\tau_y p}}{T_{\kappa}p + 1} = \frac{1 \cdot e^{-20p}}{96p + 1}$$

где  $T_{\kappa} = T_{ин} + \sigma_{ин}$

$W_{в}(p)$  – передаточная функция крайнего внешнего возмущения:

$$W_{в}(p) = \frac{K_{в}}{T_{в}p + 1} = \frac{10}{30p + 1}$$

$W_{p1}(p)$  – передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{p1}(p) = \frac{K_{p1}(T_{u1}p + 1)}{T_{u1}p} = \frac{6,623 \cdot (4,178p + 1)}{4,178}$$

$W_{p2}(p)$  – передаточная функция корректирующего регулятора:

$$W_{p2}(p) = \frac{K_{p2}(T_{u2}p + 1)}{T_{u2}p} = \frac{2,4 \cdot (96p + 1)}{96}$$

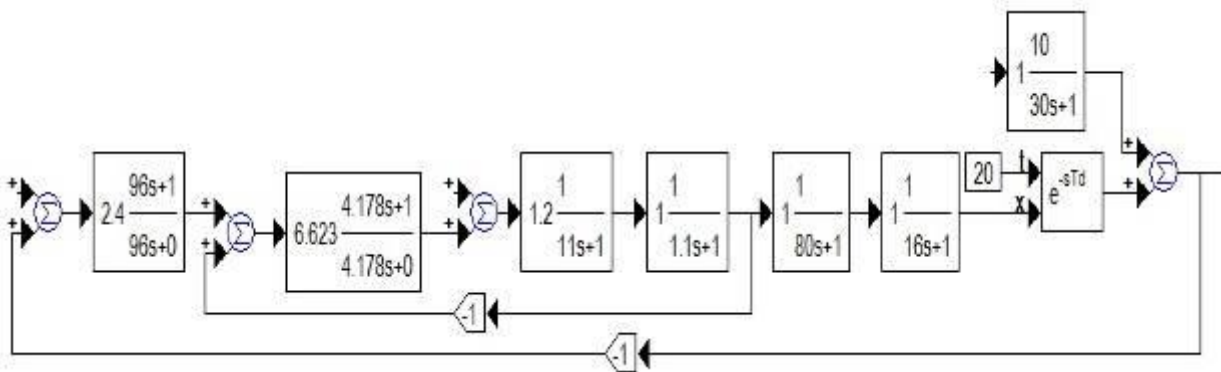


Рисунок 3 – Блок-схема типовой КСАР (динамика инерционного участка представлена в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием)

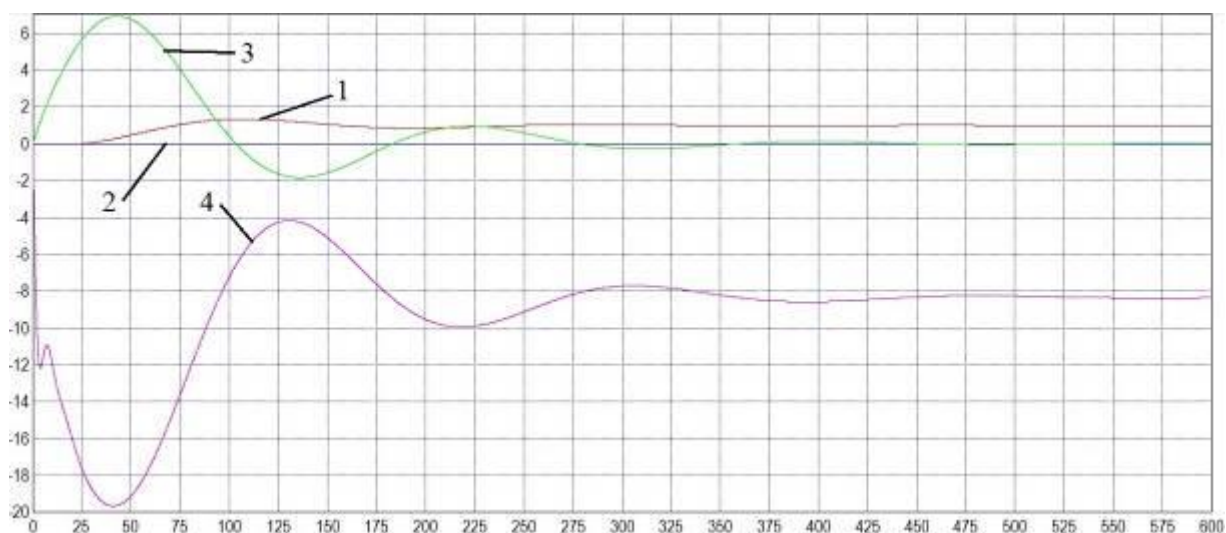


Рисунок 4 – Графики переходных процессов

- 1 – график отработки скачка задания  $x_{зд}$ ;  
 2 – график отработки внутреннего возмущения  $f_1$ ;  
 3 – график отработки крайнего внешнего возмущения  $f_2$ ;  
 4 – график регулирующего воздействия при отработке крайнего внешнего возмущения  $x_p$ .

Таблица 2 – Прямые показатели качества

$x_{зд}$			$f_1$		$f_2$		$x_p$
tp, с	$\sigma$ , %	$\psi$	tp, с	$A_1^+$ , %	tp, с	$A_1^+$ , %	
288,2	34,2	0,85	0	0,5	438,7	692,9	-19,7

### Выводы

В данном докладе была отражена необходимость дозирования питательной воды гидразином и аммиаком. Составлена схема автоматизации АСР дозирования питательной воды химреагентами. При помощи математической схемы моделирования рассчитаны параметры оптимальной динамической настройки регуляторов. Из графиков на рисунке 4 видно, что система полностью обрабатывает внутренние и внешние возмущения, что от нее и требуется.

### Литература

1. Живилова, Л.М. Автоматизация водоподготовительных установок и управления воднохимическим режимом. – Энергоиздат, 1986. – 278 с.
2. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
3. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.
4. Плетнев, П.Г. Автоматизированные технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

УДК 621.18-5

## МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

Маркова А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Проблема анализа и синтеза оптимальных систем автоматического регулирования (САР) является одной из центральных в теории автоматического управления. Решение этой проблемы позволяет существенно повысить экономичность, надежность, долговечность работы технологического оборудования и улучшить условия охраны окружающей среды.

Оптимизируем САР питания барабанного котла.

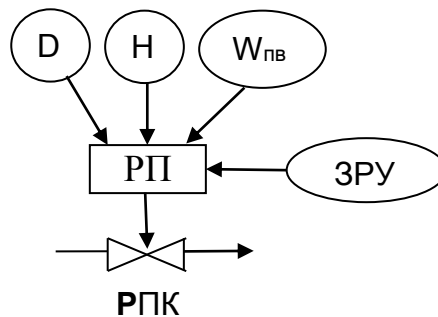


Рисунок 1 – Типовой трехимпульсный регулятор питания (ТТРП)

Настройка ПИ-регулятора определяется по динамике внутреннего быстродействующего контура, динамика которого в основном определяется инерционностью датчика расхода питательной воды и описывается инерционным звеном первого порядка со временем разгона  $T_{он}^*$ .

$$T_u = T_{он}^* c \tag{1}$$

$$K_p = \gamma T_{он}^* \tag{2}$$

где  $T_u$  – время интегрирования ПИ-регулятора;

$K_p$  – коэффициент передачи.

Численное значение  $\gamma$  выбираем по правилу золотого сечения:  $\gamma = 0,618; 0382; 0146$ .

Графики переходных процессов по уровню воды в барабане и регулирующему воздействию расходом питательной воды ТТРП:

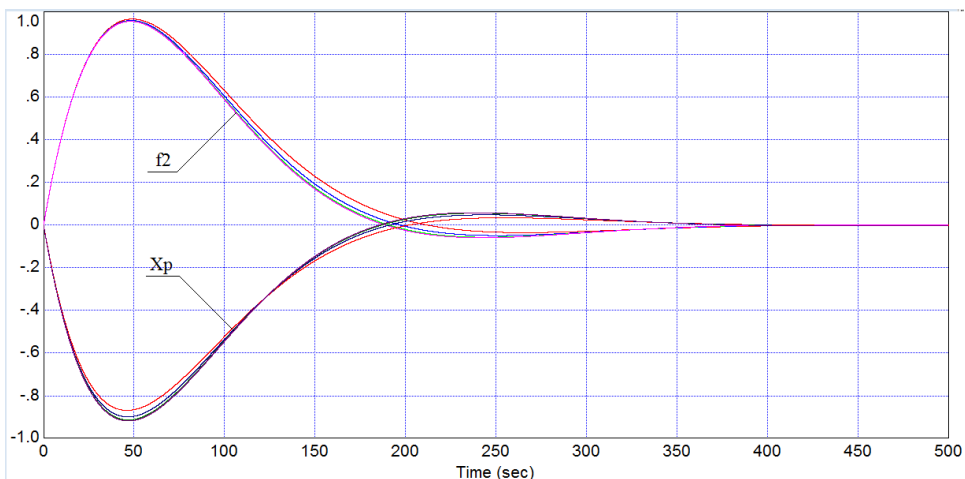


Рисунок 2 – Обработка внешнего возмущения расходом дымовых газов и величина регулирующего воздействия  $X_p$  ТТРП

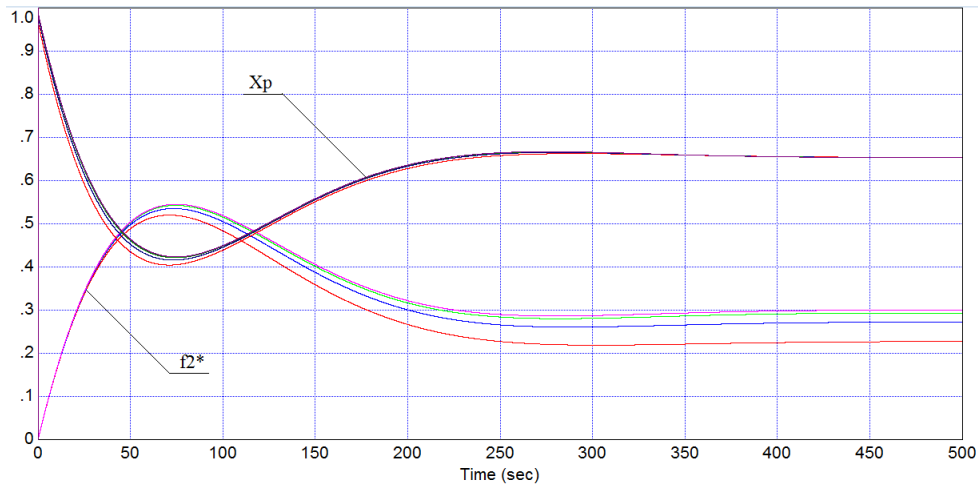


Рисунок 3 – Обработка внешнего возмущения расходом пара с явлением набухания  $f2^*$  и величина регулирующего воздействия  $Xp$  ТТРП

Основным недостатком ТТРП является наличие статической ошибки регулирования при обработке внешнего возмущения расходом пара. В связи с этим далее рассмотрим модификацию регулятора питания: каскадную систему автоматического регулирования – КСАР (рисунок 5).

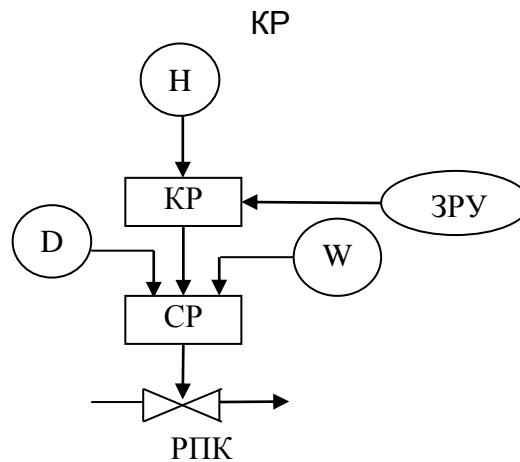


Рисунок 4 – Регулятор питания на базе КСАР

КСАР на базе оптимального регулятора с учетом динамики внутреннего контура настраиваем следующим образом.

Расчет настройки регулятора питания:

Стабилизирующий регулятор:

$$W_{p1}(p) = \frac{T_{on}^* p + 1}{T_{з\partial 1} p} \tag{3}$$

$$T_{з\partial 1} = \gamma \cdot T_{on}^* \tag{4}$$

где  $\gamma = 0,618; 0382; 0146; 0,09$ .

Корректирующий регулятор с учетом динамики внутреннего контура.

$$W_{p2}^{opt}(p) = \frac{T_1(\tau_1 p + 1)(T_{з\partial 1} p + 1)}{3T_{з\partial 2} \left( \frac{T_{з\partial 2}^2}{3} p^2 + T_{з\partial 2} p + 1 \right)} \tag{5}$$

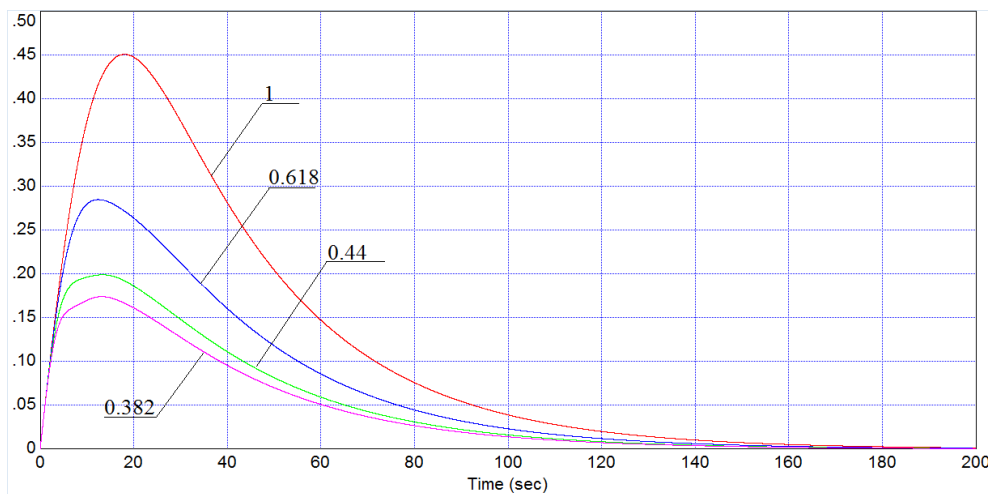


Рисунок 5 – Обработка внешнего возмущения  $f_2$  расходом дымовых газов КСАР

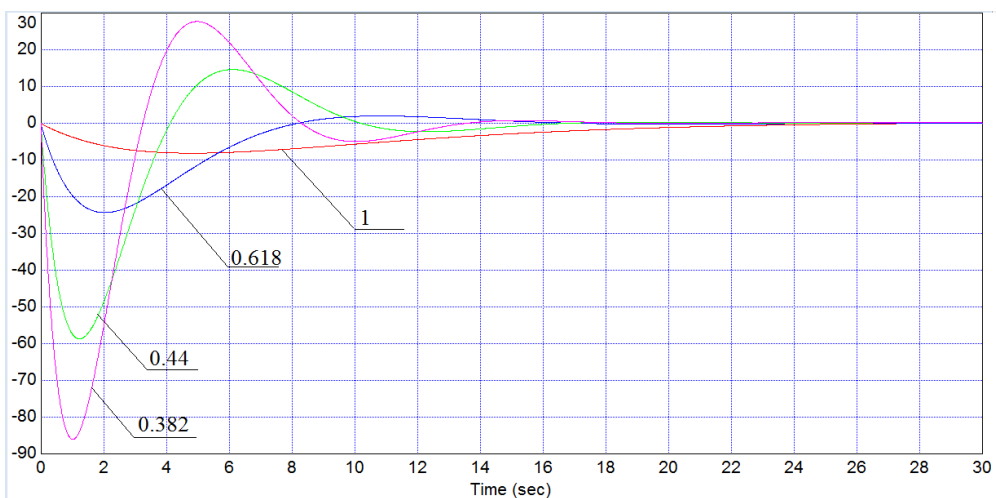


Рисунок 6 – Величина регулирующего воздействия  $X_p$  КСАР

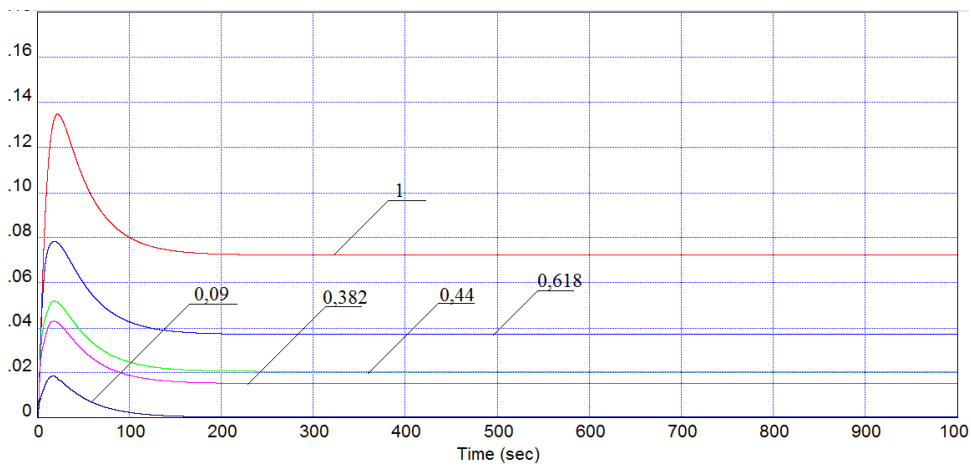
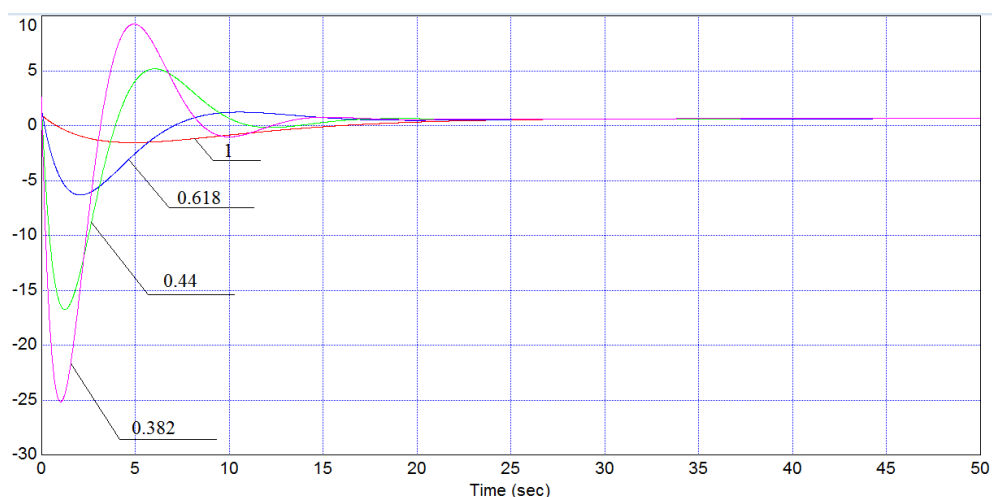


Рисунок 7 – Обработка внешнего возмущения расходом пара с явлением набухания  $f_2^*$  КСАР



Рисунок 8 – Величина регулирующего воздействия  $X_p$  КСАР

### Выводы

Предложена КСАР с учетом динамики внутреннего контура, как вариант улучшения типового трехимпульсного регулятора питания барабанного котла. Система позволяет свести к нулю статическую ошибку регулирования. Единственный недостаток, величина регулирующего воздействия, которая в 1,5 раза больше, чем в случае использования трехимпульсного регулятора, был устранен добавлением в схему ограничителя по величине регулирующего воздействия.

### Литература

1. Кузьмицкий, И.В. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГТУ, 2010. – 574 с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования». – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования». – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.

УДК 658.264

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лихута А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

На предприятиях большой и малой энергетики в эксплуатации находится большое количество теплообменного оборудования, которое работает в различных температурных условиях. В качестве греющего агента применяется пар, горячая вода, нагретые продукты нефтепереработки и других производств. От состояния поверхности нагрева теплообменного оборудования зависит эффективность его работы.

Загрязнения поверхности нагрева теплообменного оборудования различными отложениями резко снижают коэффициент теплопередачи и это приводит к значительному увеличению расхода тепла. Характер отложений на теплообменной аппаратуре зависит от свойств греющего агента и нагреваемой среды.

Количество тепла  $Q$ , передаваемого от греющего агента нагреваемой среде, определяется по формуле

$$Q = k * F * \Delta t,$$

где:  $k$  - коэффициент теплопередачи,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$F$  - температурный напор,  $°C$ ;

$\Delta t$  - поверхность теплообмена,  $м^2$ .

Связь коэффициента теплоотдачи, коэффициента теплопроводности материала стенки теплообменной поверхности и слоя загрязнений с коэффициентом теплопередачи выражается уравнением

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_n - d_{вн}}{\lambda_{см}} * \frac{d_{вн}}{d_{ср}} + \frac{\delta}{\lambda_3} * \frac{d_n + 2 * \delta}{d_{ср.з}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где:  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи внутри теплообменной трубы,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи снаружи теплообменной трубы,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$d_{вн}$  - внутренний диаметр теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_n$  - наружный диаметры теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_{ср}$  - средний диаметр теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_{ср.з}$  - средний диаметр слоя загрязнений,  $м$ ;

$\delta$  - толщина слоя загрязнений,  $м$ ;

$\lambda_{см}$  - коэффициент теплопроводности материала теплообменных труб,  $Вт/(м * °C)$ ;

$\lambda_3$  - коэффициент теплопроводности загрязнений,  $Вт/(м * °C)$ .

Эту формулу можно представить в следующем виде

$$k = \frac{1}{R_1 + R_{см} + R_3 + R_2},$$

где:  $R_1$  - термическое сопротивление со стороны внутренней стенки трубы;

$R_{см}$  - термическое сопротивление материала стенки трубы;

$R_3$  - термическое сопротивление слоя загрязнений;

$R_2$  - термическое сопротивление со стороны наружной стенки трубы.

Для определения влияния отложений на коэффициент теплопередачи от стенки трубы к нагреваемой жидкости (для теплообменника-подогревателя мазута) произведены расчеты при различной толщине загрязнений. Результаты этих расчетов приведены в таблице.

$\alpha_2, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$\delta = 0$	$\delta = 0.1мм$	$\delta = 0.3мм$	$\delta = 0.5мм$	$\delta = 1.0мм$	$\delta = 1.5мм$	$\lambda, \frac{Вт}{м * °С}$
	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	$k, \frac{Вт}{м^2 * °С}$	
290	276.1	223.9	160.1	120.6	77.5	55.7	0.12
174	170.5	148.5	118.3	94.6	65.8	49.9	
58	56.8	54.5	49.9	45.2	37.1	31.3	
290	276.1	244.6	200.1	167	121.5	92.8	0.23
174	170.5	157.5	136.9	120.6	94	76.1	
58	56.8	56.0	52.2	55.6	45.4	40.5	
290	276.1	256.4	223.9	197.2	149.6	118.3	0.35
174	170.5	162.4	148.5	136.9	112.5	94	
58	56.8	56.8	54.5	52.9	48.7	45.2	
290	276.1	261	303.9	211	168.2	139.2	0.46
174	170.5	164.7	154.3	143.8	121.8	105.6	
58	56.8	55.7	55.3	53.9	50.6	47.6	

Из таблицы видно, что значение коэффициента теплопередачи значительно снижается в зависимости от толщины загрязнений.

Например: для коэффициента теплоотдачи от поверхности трубы  $\alpha_2=58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{°С})$  и коэффициента теплопроводности загрязнений  $\lambda_3=0.12 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{°С})$  коэффициент теплопередачи для труб с толщиной загрязнений  $\delta=1.5$  мм в сравнении с чистой поверхностью трубы снижается на 45%.

Эффективным средством очистки поверхностей теплообмена от загрязнений является применение ультразвуковой аппаратуры. Способ ультразвуковой очистки заключается в применении упругих колебаний ультразвуковой частоты, возбуждаемых импульсным генератором и передаваемых объекту очистки с помощью магнитострикционного преобразователя, который приваривается к крышке теплообменника или к трубной доске.

Ультразвуковой способ очистки был применен на подогревателях мазута. Магнитострикционные преобразователи установлены по продольной оси теплообменника в центре передней крышки, соединены с трубной доской. Нагрев мазута осуществляется паром при давлении 0.6 МПа с температурой 170°С. Подогреватели подвергались чистке отложений 1 раз в 5 - 6 месяцев. Расход пара на подогрев 1 т мазута до внедрения ультразвуковой очистки составлял 0.122 т или 0.288 ГДж/т. Расход пара на подогрев мазута после внедрения ультразвуковой очистки составил 0.0676 т/т или 0.159 ГДж/т. Снижение расхода пара составило 45%.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение ультразвуковой очистки на теплообменном оборудовании позволяет существенно улучшить экономические показатели работы теплообменного оборудования.

### Литература

1. Багиров И.Т., Кардаш И.М. Снижение энергозатрат на нефтеперерабатывающих заводах. – М.: Химия, 1972.

УДК 621.165

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ НА ТЭЦ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Иванов А.В., Лапатин М.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

В настоящее время в Белорусской энергосистеме имеет место проблема с обеспечением баланса мощностей в ночные часы, что связано с большой долей мощности ТЭЦ и приводит к необходимости их разгрузки ниже теплового графика. В перспективе, при ожидаемом вводе двух крупных энергоблоков АЭС, эта проблема существенно обострится и регулирование суточного графика без применения специальных мероприятий станет невозможным [1].

В исследованиях по маневренным ТЭЦ, выполненных в восьмидесятые годы прошлого века (значительное место в которых занимают работы Белорусского отделения ВНИПИэнергопром задача в основном сводилась к выбору наиболее эффективного способа получения маневренной мощности на ТЭЦ, работающих в отопительный период с полной загрузкой теплофикационных отборов. При этом обоснованно считалось, что по своим технико-экономическим характеристикам ТЭЦ должны вступать в регулирование суточного графика электрической нагрузки энергосистемы только после того, как конденсационные электростанции исчерпали свои маневренные возможности.

При вводе Белорусской АЭС, базовая мощность которой составит около трети прогнозной потребности энергосистемы в пики потребления и около половины – в часы его спада, ситуация существенным образом изменится. В отопительный период электроснабжение потребителей почти полностью перейдет к АЭС и ТЭЦ, и на ТЭЦ ляжет несвойственная для них функция регулятора суточных графиков электрических нагрузок в больших масштабах, включая всю переменную часть этих графиков [2].

В таких условиях определяющим фактором при выборе способа получения на ТЭЦ маневренной мощности станет снижение выдачи электрической мощности от ТЭЦ в энергосистему. В наибольшей мере [2] этому критерию соответствует ночная разгрузка отборов теплофикационных турбоустановок на специально устанавливаемые электродкотлы (ЭК), использующие электроэнергию, вырабатываемую на тех же турбоустановках (рисунок 1).

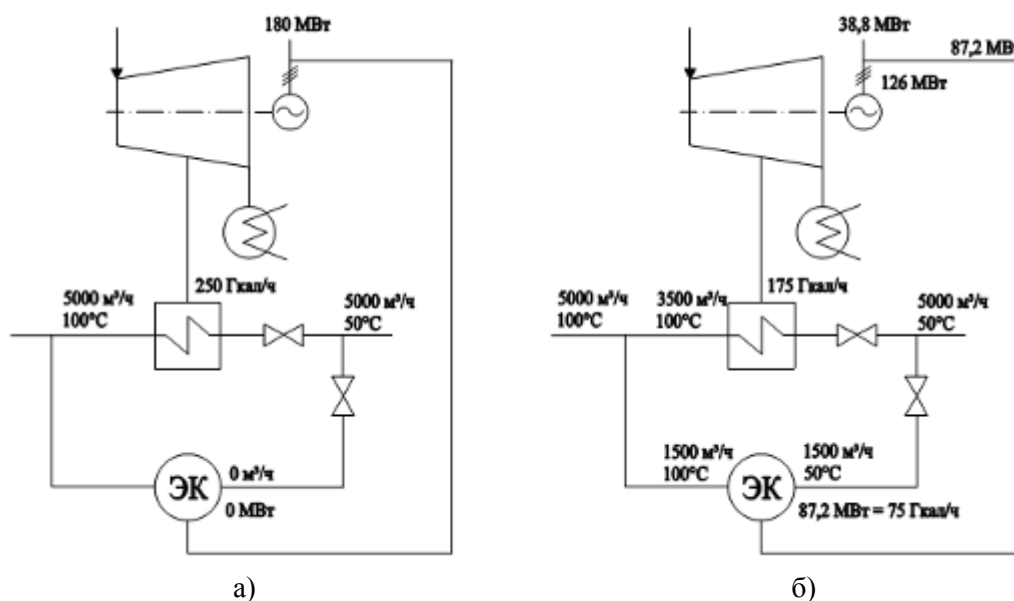


Рисунок 1 – Разгрузка блока 180 МВт на электродкотлы: а – исходный режим; б – режим разгрузки

В РУП «БелНИПИэнергопром» по поручению ГПО «Белэнерго» произведено исследование энергетической и экономической эффективности такого решения [2].

В [2] определена потребность в электродотлах в зависимости от спроса на маневренную полупиковую мощность ТЭЦ, то есть от требуемого снижения выдачи электрической мощности в энергосистему  $\Delta P_{\text{рг}}$ , для крупных теплофикационных паротурбинных установок (ПТУ). Величина  $\Delta P_{\text{рг}}$  складывается из фактического снижения мощности турбоагрегата ниже теплового графика  $\Delta N_{\text{тф}}$  и потребления электроэнергии электродотлами  $N_{\text{эк}}$ , значения которых можно выразить через снижение нагрузки отопительных отборов  $\Delta Q_{\text{отб}}$ , соответствующее теплопроизводительности  $Q_{\text{эк}}$ :

$$N_{\text{эк}} = \Delta P_{\text{рг}} / (W_{\text{тф}} \eta_{\text{эк}} + 1 / \eta_{\text{эк}}) \quad (1)$$

где  $W_{\text{тф}}$  – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении;  $\eta_{\text{эк}}$  – КПД электродотлов.

Как видно, необходимая мощность электродотлов будет тем выше, чем больше задаваемая энергосистемой глубина разгрузки турбоустановки  $\Delta P_{\text{рг}}$  и чем ниже удельная теплофикационная выработка  $W_{\text{тф}}$  теплофикационного турбоагрегата.

При этом величина снижения выдачи электрической мощности в энергосистему  $\Delta P_{\text{рг}}$  [4]  
- при разгрузке отборов турбин на электродотлы

$$\Delta P_{\text{рг}} = W_{\text{тф}} \Delta Q_{\text{отб}} + (W_{\text{тф}} + 1 / \eta_{\text{эк}}) \Delta Q_{\text{отб}} \quad (2)$$

- при разгрузке отборов турбин на традиционные водогрейные котлы

$$\Delta P_{\text{рг}} = W_{\text{тф}} \Delta Q_{\text{отб}}. \quad (3)$$

Из сравнения (2) и (3) видно, что при одной и той же разгрузке отбора по теплоте  $\Delta Q_{\text{отб}}$  в варианте с электродотлами достигается большее снижение выдачи электрической мощности в энергосистему  $\Delta P_{\text{рг}}$  на величину электрической мощности, расходуемой на электродотлы  $N_{\text{эк}}$ . Поскольку для крупных теплофикационных турбоагрегатов, таких как Т-100/120-130, Т-180/210-130 и Т-250/300-240 характерно значение  $W_{\text{тф}} \approx 0,5 \dots 0,55$ , для достижения равного эффекта по снижению выдачи электрической мощности при разгрузке отборов на электродотлы потребуется в три раза меньшая разгрузка отборов турбоагрегатов по теплоте и меньшее снижение мощности парогенераторов ТЭЦ [2].

Как видно из рисунка 1 разгрузив теплофикационный энергоблок с турбоустановкой Т-180-210 на 30% с передачей 75 МВт тепловой нагрузки, т.е. 30% исходной, на электродотлы, можно сократить выдачу электрической мощности в энергосистему на 78,5%.

С энергетической точки зрения использование электродотлов характеризуется «двойной трансформацией» энергии, чем обуславливаются низкий КПД и высокая стоимость производимой теплоты. Однако в предлагаемом решении случае электродотел работает не в целях теплоснабжения, а в целях повышения надежности и эффективности электроснабжения.

При этом необходимо сопоставить две энергетические ценности – получение дополнительной экономии топлива и получение дополнительной маневренной электрической мощности в энергосистеме [2].

Результаты расчетов, приведенные в [2], показали, что разгрузка отборов теплофикационных турбоагрегатов Т-100-130, Т-180-130 и Т-250-240 на электродотлы по сравнению с разгрузкой на топливоиспользующие котлы ТЭЦ приводит к перерасходу топлива в часовом разрезе от 0,4 до 2,3 %, в суточном разрезе – от 0,03 до 0,08 %. Это сравнительно небольшая величина перерасхода топлива, намного ниже той, которую имеют электродотлы при использовании их для теплоснабжения.

Экономическую эффективность в [2] определяли исходя из того, что АЭС станет практически единственной альтернативой ТЭЦ в покрытии полупиковой части суточного

графика электрической нагрузки энергосистемы в зимний период. В качестве экономического критерия в [2] принят срок окупаемости единовременных капитальных вложений в электродкотлы за счет экономии годовых издержек на ТЭЦ при использовании их в маневренном режиме. Эта экономия определялась как разность снижений годовых издержек на ТЭЦ с теплофикационными турбоагрегатами Т-100-130, Т-180-130 и Т-250-240 и АЭС при переводе их с базового на маневренный режим работы. При этом в снижении издержек учитывались экономия затрат, связанная со снижением расхода потребляемого энергоресурса, повышение постоянной составляющей себестоимости электроэнергии, производимой в маневренном режиме, а также дополнительные годовые издержки ТЭЦ на эксплуатацию электродкотлов.

Проведенные РУП «БелНИПИэнергопром» расчеты выявили относительно высокую экономическую эффективность получения маневренной полупиковой мощности на ТЭЦ с применением электродкотлов, по сравнению с получением такой же маневренной мощности на АЭС посредством систематической разгрузки ее энергоблоков в ночные часы зимнего периода [2]. Срок окупаемости капвложений в электродкотлы находится в пределах от 0,5 до 1,5 года в зависимости от мощности турбоагрегатов, единичной теплопроизводительности электродкотлов и цены потребляемого на ТЭЦ природного газа [2].

#### Литература

1. Короткевич, А.М. О балансе мощностей Белорусской энергосистемы и проблемах регулирования суточного графика нагрузок: настоящее и перспективы / А.М. Короткевич, О.Г. Фоменко // Энергетическая стратегия. – 2008. – №2. – с. 24 – 28.
2. Трутаев, В.И. Применение электродкотлов на ТЭЦ как эффективный способ получения маневренной электрической мощности в энергосистеме Беларуси с вводом АЭС / В.И. Трутаев, В.М. Сыропушинский // Энергетическая стратегия. – 2010. – № 4(16). – с. 19 – 24.

УДК 620.93:681.515

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УЗЛА РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ

Мазуркевич А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Романко В.А.

**Эффективность очистки воды** и объем отходов, удобство и безопасность обслуживания в значительной мере определяется аппаратным оформлением процесса водоподготовки. Разработаны сотни видов ионообменных аппаратов различного типа периодического и непрерывного действия, со сплошным и псевдооживленным слоями ионитов.

В отечественной водоподготовке применяются только аппараты периодического действия со сплошным слоем ионита типа фильтр. Аппараты периодического действия характеризуются тем, что все технологические процессы (очистка, взрыхление **противоточными** (противопоточными)).

Прямоточные (параллельноточные) фильтры – это наиболее простые аппараты, состоящие из корпуса, снабженного верхним распределительным устройством и нижним дренажным устройством. Последнее представляет из себя коллектор дренажными колпачками или выполненное из перфорированных дренажных труб. Внутри корпуса находится слой ионита. Он не должен превышать по высоте 0,5–0,7 высоты фильтра, так чтобы при периодическом взрыхлении слоя, когда он расширяется, не было уноса и потерь ионита.

В данном докладе разработана система автоматического регулирования узла регенерации ионитных фильтров при химическом обессоливании воды.

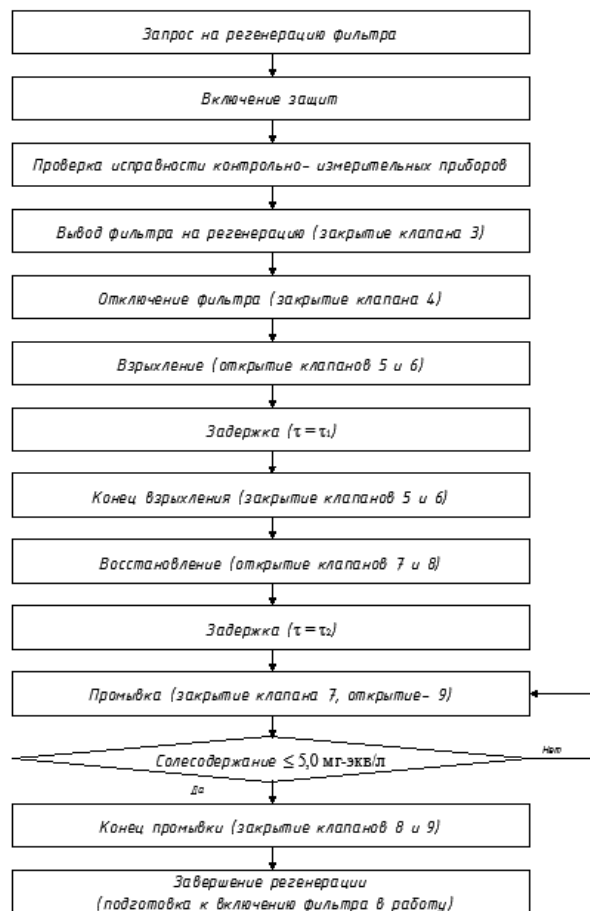


Рисунок 1 – Алгоритм автоматического управления процессом регенерации ионитных фильтров

Рядом с фильтром на подводящих трубопроводах устанавливается запорная арматура с ручным, гидро- или электроприводом.

Работа фильтра состоит из следующих операций:

- **очистка воды;**

Очистка воды производится сверху вниз при открытых клапанах 3 – 4, увеличение перепада давления на фильтре, увеличение жесткости (проскока  $\text{Na}^+$ ) после фильтра и общего расхода воды через него служит надежным косвенным показателем его загрязненности. Поэтому при увеличении данных показателей ионитный фильтр выводится на регенерацию.

- **взрыхление для удаления взвесей;**

Первой стадией регенерации является взрыхление фильтрующего слоя водой. Взрыхление катионита необходимо для устранения слежавшихся слоев и удаления из него механических загрязнений, наличие которых приводит к увеличению перепада давления в слое ионита. При взрыхлении воду подают на фильтр снизу вверх скоростью 7 – 10 м/ч. Вначале закрывают клапаны 3 – 4, открываются клапаны 5 – 6. Процесс взрыхления занимает около 20 минут.

- **регенерация ионита;**

Производится закрытием клапанов 5 – 6 и открытием клапанов 7 – 8. При регенерации начинается последовательно подача регенерирующего раствора (1,5 %-го раствора серной кислоты) в течении 30 - 40 минут со скоростью не менее 10 м/ч во избежание «загипсовывания» катионита.

- **промывка.**

Вначале закрывают клапан 7, открывается клапан 9. Промывку слоя ионита от продуктов регенерации и остатков этого раствора осуществляют пропуском промывочной воды сверху вниз в течении 30 минут со скоростью 8 – 10 м/ч. О завершении процессов промывки и регенерации в целом судят по косвенному показателю – снижению перепада давлений воды на фильтре до исходного установившегося значения и концентрации соледержания (5,0 мг-экв/л). После чего закрываются клапаны 8 – 9 и фильтр вводится в работу открытием клапанов 3 – 4.

Приготовление регенерационного раствора производится следующим образом:

- открытие клапана 11 для подачи серной кислоты;
- подача осветленной воды (открытие клапана 12);
- включение насоса-дозатора;
- по расходу осветленной воды с помощью насоса-дозатора подаем нужное количество концентрированной серной кислоты, в результате получаем 1,5 %-ый раствор серной кислоты.

Для вышеописанного алгоритма автоматического управления процессом регенерации ионитных фильтров была разработана функциональная схема управления процессом, на которой указаны датчики, электроприводы, регулирующая и запорная арматура, а также микропроцессорный контроллер и органы управления.

Также для предлагаемой схемы был произведен проверочный расчет регулирующих органов.

В качестве примера ниже приведен проверочный расчет клапана КППС 600.

**Исходные данные:**

- Пределы изменения расхода,  $\text{м}^3/\text{ч}$  – 120;
- Условный проход клапана, мм – 150;
- Гидравлическое сопротивление клапана, кПа – 520.



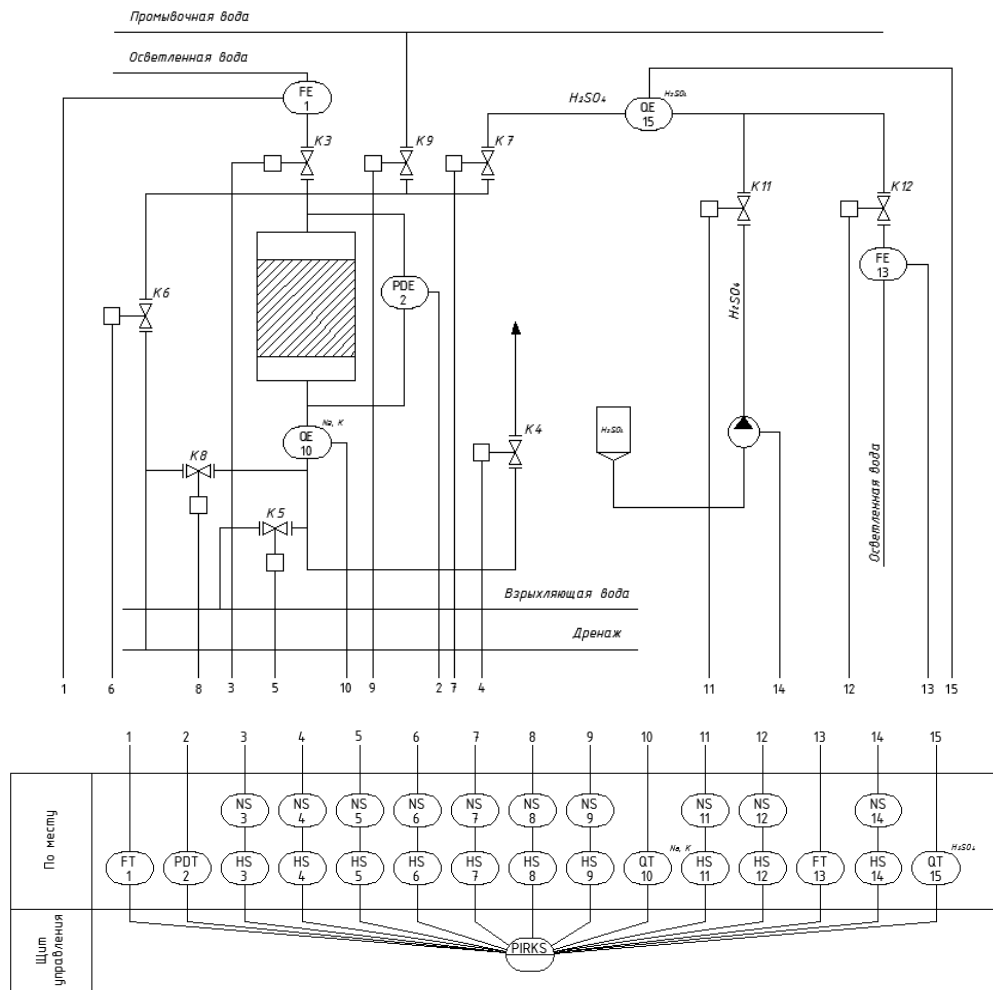


Рисунок 2 – Функциональная схема

Цель проверочного расчета состоит в определении максимальной пропускной способности клапана КПРС 600 для установления диапазонов регулирования.

Для этой цели определим объемный расход пара:

$$G = \mu_{кл} \cdot F \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1)$$

где  $\mu_{кл}$  – коэффициент расхода, под которым понимают отношение действительного измеренного расхода среды к расчетному. Принимаем  $\mu_{кл} = 7$  при  $F/F_{MAX} = 1$ ;  $F$  – площадь открытия регулирующего органа,  $\text{м}^2$ .

$$F = \pi R^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{0,150}{2}\right)^2 = 0,0177 \text{ м}^2; \quad (2)$$

$\Delta p$  – гидравлическое сопротивление дроссельного устройства, Па;  
 $\Delta p = 520 \text{ кПа}$   $\rho$  – плотность вещества,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

$$G = 7 \cdot 0,0177 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 520000}{1000}} = 3,996 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3)$$

$G_{тр} = 120 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,033 \text{ м}^3/\text{с} < G$  следовательно клапан выбран правильно.

### **Выводы**

В процессе данной работы автоматизирован узел регенерации ионитных фильтров при химическом обессоливании воды. На основании алгоритма была разработана функциональная схема системы логического управления, а также определена максимальная пропускная способность клапана КПРС 600 для установления диапазона регулирования.

### **Литература**

1. Живилова, Л.М. Автоматизация водоподготовительных установок и управления водно-химическим режимом ТЭС: Справочное пособие / Л.М. Живилова, В.В. Максимов. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Живилова, Л.М. Автоматический контроль воднохимическим режимом тепловых электрических станций. – М.: Энергия, 1979.
3. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Клюев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Плетнев, П.Г. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1985.

УДК 621.438 (075)

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Лесничий В.С., Лазовский В.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

С целью снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт энергетических газотурбинных установок (ГТУ) при одновременном обеспечении максимально возможной эксплуатационной готовности и надежности их работы должна быть разработана хорошо продуманная программа технического обслуживания и осмотров газотурбинного оборудования. Правильная реализация этой программы обеспечит сокращение вынужденных простоев и повышение пусковой надежности оборудования, снизит количество незапланированных ремонтов.

Существует большое количество факторов, которые могут оказывать влияние на срок службы оборудования и должны быть учтены при планировании технического обслуживания (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на планирование технического обслуживания ГТУ

Программы технического обслуживания ГТУ и вспомогательных систем представляют собой установленный порядок проведения необходимого комплекса работ на оборудовании в зависимости от времени эксплуатации.

На рисунках 2, 3 представлены примерные планы технического обслуживания ГТУ компании Siemens, включающий визуальный осмотр, в том числе с помощью бороскопа, и неразрушающий контроль различных узлов и элементов ГТУ: газовой турбины, компрессора, камеры сгорания и пр. [2, 3]. В таблице 1 приведен пример проводимых работ на разных уровнях планового обслуживания ГТУ [2].

Кроме мероприятий по полному обследованию агрегата и определению его технического состояния (Lifetime Assessment – LTA) план техобслуживания также включает мероприятия по продлению ресурса агрегата сверх расчетного (Lifetime Extension – LTE) [2, 3].

Интервалы времени, через которые необходимо проводить соответствующее обслуживание, определяются не только количеством часов наработки ГТУ, но и эксплуатационными факторами: нагрузка, количество пусков, тип и качество используемого топлива. Для этого используется комплексный показатель – эквивалентное время наработки или эквивалентные часы наработки (ЭЧН).

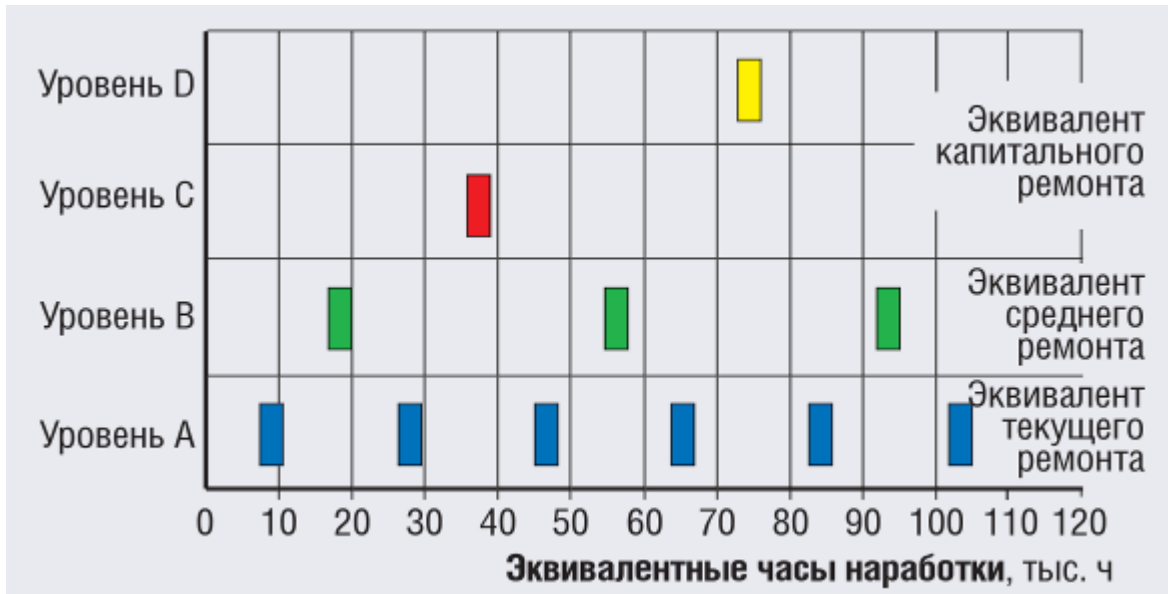


Рисунок 2 – Пример уровней планового техобслуживания SGT-800 Siemens

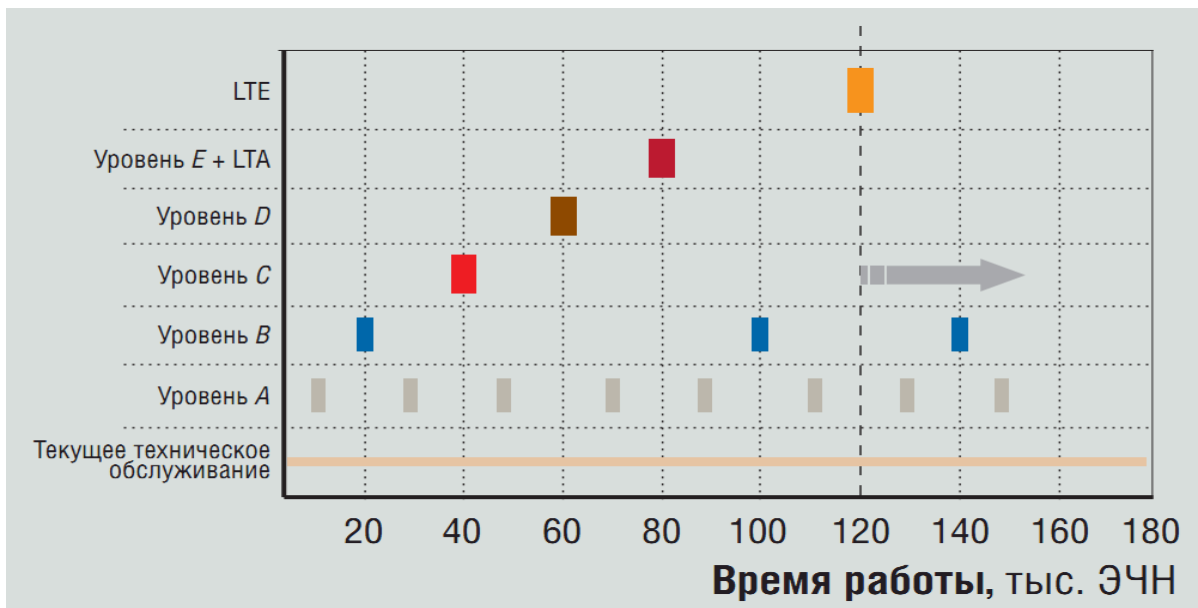


Рисунок 3 – Примерный план технического обслуживания ГТУ типа SGT-600 Siemens

Таблица 1 – Пример проводимых работ на уровнях планового обслуживания SGT-500 Siemens

Уровни	А	В	С	Д
Время ремонта	3 рабочих дня	5 рабочих дней	26 рабочих дней	26 рабочих дней
Осмотры	Лопатки турбины Камера сгорания Муфты и редуктор Вспомогательные системы Генератор	Лопатки турбины Топливные форсунки Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Генератор	Неразрушающие испытания лопаток и дисков турбины Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Подшипники Генератор	Неразрушающие испытания лопаток и дисков турбины Камера сгорания Газовый коллектор Муфты и редуктор Вспомогательные системы Подшипники Генератор (с выемкой ротора)
Замена или ремонт (по необходимости)			<b>Замена</b> Курсовые подшипники Входное кольцо ТВД	<b>Замена</b> Газовый коллектор Жаровые трубы 1-я ступень ТНД Курсовые подшипники Диск ТВД Входное кольцо ТВД
Проверки	САУ и КИП	САУ и КИП	САУ и КИП	САУ и КИП

В [2] пример расчета эквивалентных часов наработки представлен формулой:

$$H_0 = \Sigma (C_x \cdot C_f \cdot H + 5 N_0) = \Sigma (C_x \cdot C_f \cdot H + 5 \Sigma (C_n N)),$$

где  $H_0$  – эквивалентные часы наработки;  $C_x$  – коэффициент нагрузки;  $C_f$  – коэффициент топлива;  $H$  – часы наработки;  $N_0$  – эквивалентные циклы наработки;  $N$  – количество старт/стоп циклов;  $C_n$  – коэффициент пусков/останов.

Вид сжигаемого в ГТУ топлива оказывает влияние на интервалы и объем технического обслуживания. При этом газообразное топливо рассматривается как оптимальное при определении интервалов технического обслуживания ( $C_f = 1$ ). При использовании чистого дистиллятного (дизельного) топлива рекомендуемый интервал технического обслуживания может сокращаться в 1,5 раза ( $C_f = 1,5$ ), а при использовании сырой нефти или топочного мазута – в 2...4 раза ( $C_f = 2...4$ ) [1].

Продолжительная работа ГТУ при *пиковой нагрузке*, связанная с *повышенными рабочими температурами*, требует более частого технического обслуживания и замены компонентов тракта горячих газов. Ориентировочно, каждый час работы при начальной температуре выше номинальной на 50°C по воздействию на срок службы рабочих лопаток турбины эквивалентен 5...6 часам работы при базовой нагрузке ( $C_x = 5...6$ ), а увеличение температуры на 100...120°C, повысит коэффициент технического обслуживания примерно до 30...40 ( $C_x = 30...40$ ) [1]. В то же время работа при пониженной рабочей температуре увеличивает срок службы компонентов тракта горячих газов. Так, работу в течение 1 часа при повышенной на 50°C температуре можно компенсировать примерно 6 часами работы при пониженной на 150°C относительно базовых условий температуре. Однако снижение нагрузки не всегда означает снижение рабочей температуры. Так, в ГТУ, работающих с утилизацией теплоты отработавших газов, применяется количественное регулирование нагрузки до 60...80% номинальной за счет прикрытия направляющего аппарата компрессора и сохранения номинальной рабочей температуры; в ГТУ с системами сжигания топлива типа DLN используется регулирование положения направляющего аппарата компрессора с целью расширения диапазона работы с низкими выбросами окислов азота на частичной нагрузке [1].

При учете количества пусков и остановов следует учитывать условия их осуществления, так как любые отклонения, вызывающие значительное увеличение механических напряжений и/или максимальной температуры металла по сравнению с условиями нормального цикла, снижают усталостную долговечность и увеличивают значение коэффициента технического обслуживания.

Так, отключения при частичной нагрузке оказывают меньшее влияние на ЭЧН вследствие меньшей температуры металла: в то время как отключение с режима холостого хода сокращает интервал технического обслуживания в 2 раза ( $C_n = 2$ ), при отключении при нагрузке 80.. 100% номинальной – в 8 раз ( $C_n = 8$ ), а при отключении на пиковой нагрузке (при форсировании камеры сгорания) – в 10 раз ( $C_n = 10$ ) [1].

Аналогично экстренные пуски и быстрый наброс нагрузки существенно сокращают интервал технического обслуживания. Ориентировочно, экстренные пуски, при которых ГТУ переходят из неподвижного состояния в режим полной нагрузки в течение менее 5 минут оказывают влияние на срок службы компонентов, эквивалентное влиянию 20 дополнительных циклов, а нормальный пуск с быстрым набором нагрузки – только 2 [1]. В то же время, пуск ГТУ с выходом на частичную нагрузку позволяет интервалы технического обслуживания увеличить. Например, два рабочих цикла с выходом на уровень нагрузки менее 60% номинальной будут эквивалентны одному пуску с выходом на уровень нагрузки более 60% номинальной [1].

Для массивных роторов мощных ГТУ важным является изменение теплового состояния при пусках и остановах, что может приводить к высоким термическим (тепловым) напряжениям. Соответственно, коэффициент технического обслуживания для пуска зависит от продолжительности простоя, определяющего исходное *тепловое состояние ротора на момент пуска*. По мере увеличения продолжительности простоя температура металла ротора приближается к температуре окружающей среды, и влияние температурной усталости во время последующего пуска возрастает. Вследствие этого при пусках из холодного состояния устанавливается коэффициент технического обслуживания ротора, равный двум, а при пусках из горячего состояния – менее единицы [1].

Для большинства применений газовых турбин типичными являются три основных режима эксплуатации: *пиковый, полупиковый и базовый*. Для этих режимов характерны различные комбинации пусков из горячего, прогретого и холодного состояния и, соответственно, различные интервалы технического обслуживания.

Кроме указанного, на интервал технического обслуживания влияют и другие факторы: соблюдение технологии эксплуатации (например, важным является использование валоповоротного устройства), работа при отклонении частоты вращения от номинальной, уровень вибрации агрегата, чистота смазочного масла, качество забираемого компрессором воздуха и его влажность, впрыск воды или пара в газовый тракт и пр.

Интегрированный коэффициент технического обслуживания, найденный для реального режима и условий эксплуатации конкретного агрегата, может быть использован для определения оптимальных интервалов технических осмотров и улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик газотурбинных установок.

### Литература

1. Эксплуатация и техническое обслуживание газовых турбин большой мощности / David Balevic, Robert Burger, David Forry // General Electric Company // GE Energy / GER3620k\_ru (12/04). - 2004.
2. Сервисная поддержка промышленных газовых турбин Siemens / Герд Уве Шмидель, А.В. Гуцин, В.Е. Торжков // Турбины и дизели. – 2007. - № 6 (ноябрь–декабрь). – С. 38 – 42.
3. Газотурбинный агрегат SGT-600: совершенствование конструкции и плана технического обслуживания / В.В. Навроцкий, М. Бломштедт, С. Юбель, С.В. Медведев // Турбины и дизели. – 2009. - № 1 (январь–февраль). – С. 20 – 25.

УДК 621.184

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

Лихута А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

Резервы энергосбережения в системах отопления жилых зданий следует искать в управлении процессами вентиляции зданий. Полностью контролируемая приточно-вытяжная вентиляционная система делает экономически целесообразным переход к воздушному отоплению в зданиях. В этом случае пропадает необходимость в монтаже дополнительной инженерной системы водяного отопления для обогрева жилых помещений.

Для жилых зданий предыдущего поколения использование системы воздушного отопления было нецелесообразно по нескольким причинам. Объясняется это тем, что температура теплоносителя в системах воздушного отопления ограничена 45 °С, для решения задачи достаточного обеспечения теплом уровень воздухообмена повышался до 3-5 кратного значения по сравнению с необходимым для целей проветривания помещений. Это приводило к существенному увеличению уровня теплопотерь зданий, а также к уносу влаги из помещений и снижению относительной влажности до 20 – 30 %. Такой уровень влажности приводил к повышенной электризации и запыленности воздуха в помещениях, что стимулировало увеличение количества заболеваний дыхательной системы, а также увеличивало количества аллергенов в атмосфере помещений.

При современных требованиях к теплозащите ограждающих конструкций после реконструкции уровень теплопотерь здания существенно уменьшится, соответственно снизится и необходимый объем воздуха в системе воздушного отопления.

Для зданий существующего жилого фонда легко рассчитать теплопотери через ограждающие конструкции в пересчете на 1 м<sup>2</sup> жилой площади. Для 9-этажного здания с высотой этажа 2,5 м и площадью горизонтального сечения 825 м<sup>2</sup> при  $R_{оер} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  и  $R_{ок} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  и при 20-и процентном остеклении теплопотери с воздухообменом для расчетной наружной температуры  $T_{нр} = -25 \text{ °C}$  и для средней за отопительный период температуры наружного воздуха  $T_{н.ср} = -1,2 \text{ °C}$  в расчете на 1 м<sup>2</sup> жилой площади (50 % от общей) при номинальном воздухообмене ( $V_0 = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) в схеме воздушного отопления без рекуперации воздуха в % от полных теплопотерь составляют

$$37\% \text{ при } T_n = -25 \text{ °C}$$

$$37\% \text{ при } T_n = -1,2 \text{ °C}$$

Рассмотрим ситуацию, когда 60 % тепла, уносимого воздухообменом из помещения, возвращается обратно.

С рекуперацией тепла уходящего воздуха система отопления имеет вид (рис. 1)

На вход системы отопления поступает воздух, подогретый до температуры  $T_2$ .

При этом, потребление тепла из теплосети уменьшится на величину возвращаемого тепла.

Таким образом, чтобы при номинальном воздухообмене ( $V_0 = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 м<sup>2</sup> жилой площади) обеспечить температуру воздуха в помещении  $T_0 = 20 \text{ °C}$  при  $T_1 = 45 \text{ °C}$  необходимо увеличивать термосопротивление ограждающих конструкций и окон.

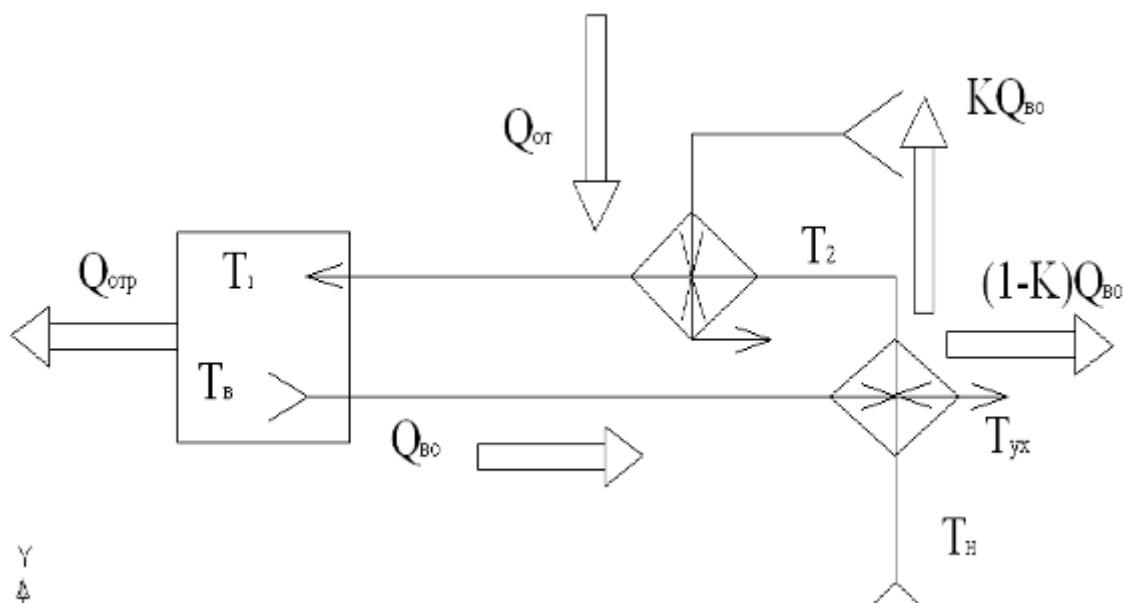


Рисунок 1 – Схема воздушного отопления с рекуперацией уходящего воздуха

В таблице приведены рассчитанные значения термосопротивления ограждающих конструкций для обеспечения температуры воздуха в помещении  $T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  при номинальном ( $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $\text{м}^2$ ) воздухообмене.

$T_n, \text{ }^\circ\text{C}$		-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10
$R_{орг},$ $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_{ок} = 0,4$	18,82	9,07	5,44	3,55	2,39	1,6	1,03	0,6
	$R_{ок} = 0,5$	7,47	5,23	3,78	2,76	2	1,42	0,95	0,58
	$R_{ок} = 0,6$	5,3	4,08	3,14	2,4	1,8	1,3	0,9	0,56
	$R_{ок} = 0,7$	4,42	3,53	2,8	2,2	1,69	1,25	0,88	0,55

Полученные результаты показывают, что воздушное отопление помещений для зданий с низким потреблением энергии для отопления вполне можно совместить с системой воздухообмена.

Требуемое термосопротивление ограждающих конструкций вполне согласуется с цифрами, рассчитанными для зданий, не требующих отопления часть существующего в настоящее время отопительного сезона.

### Литература

1. Данилевский Л.Н. Необходимые условия реализации проекта "Пассивный дом" в Республике Беларусь / Белорусский строительный рынок. – № 8. – 2002 г.



УДК 621.438: 669.01:539.4

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ 135-130/13

Ланкевич Л.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Герасимова А.Г.

В условиях продолжающегося старения основных производственных фондов предприятий энергетики Республики Беларусь возрастает актуальность проблемы поддержания технического состояния оборудования ТЭС на должном уровне.

Несмотря на то, что в последнее время темпы технического перевооружения увеличиваются, изношенность генерирующих мощностей ТЭС концерна «Белэнерго» составляет более 50 %, и в ближайшей перспективе увеличение темпов осложняется недостаточным финансированием.

В сложившейся ситуации альтернативой техническому перевооружению электростанций может быть продление срока эксплуатации изношенного оборудования.

Анализ технического состояния оборудования ТЭС показал, что оборудование ряда электростанций, отработавших большой срок, имеет сравнительно неплохие показатели готовности и по показателям надёжности может конкурировать с новым. На основании этого был сделан вывод о возможности надёжной эксплуатации оборудования отработавшего парковый ресурс или приближающегося к нему [1].

В связи с тем, что самыми дорогостоящими и технически сложными в изготовлении и эксплуатации элементами энергооборудования ТЭС, как показывает экономический анализ, являются паровые турбины, именно их ресурсу работы уделяется основное внимание при рассмотрении вопросов повышения надёжности и продления сроков эксплуатации [2].

В число основных ингредиентов, определяющих надёжность и долговечность элементов паровых турбин, входят:

- особенности конструкторского исполнения;
- выбор материалов;
- технология изготовления деталей;
- особенности эксплуатации, в частности связанные с режимами пуска, параметрами среды и коррозионно-эрозионной и абразивной ее активностью;
- комплекс механических характеристик материалов;
- обоснованность применяемых методов неразрушающего контроля и продления ресурса деталей.

Основными нормативными документами, регламентирующими проведение контроля и порядок проведения оценки индивидуального ресурса паровых турбин, являются СТП 09110.17.400-03 «Инструкция по контролю металла и продлению срока эксплуатации основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций концерна «Белэнерго» [3] и РД 34.17.440-96 «Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продления их эксплуатации сверх паркового ресурса» [4].

Парковый ресурс всех турбин мощностью менее 50 МВт и работающих при давлении 9 МПа и менее – 270 тыс. час.

Парковый ресурс основных элементов турбин мощностью 50 МВт и более приведен в таблице 1.

Контроль поверхности корпусных деталей турбин осуществляется в соответствии с формулярами контроля сплошности – эскизами деталей, на которых очерчены и пронумерованы зоны контроля.

В случае отсутствия формуляров контролю подвергаются все радиусные переходы на наружной поверхности и доступные радиусные переходы на внутренней поверхности.

Таблица 1 – Парковый ресурс основных элементов турбин мощностью 50 МВт и более [3]

Тип турбины	Завод изготовитель	Парковый ресурс турбины, тыс. час.	Парковый ресурс основных элементов турбины, тыс. час.		
			Роторы высокого и среднего давления	Корпуса ЦВД, ЦСД	Корпуса стопорных и регулирующих клапанов
К-300-240, К-200-130 Т-180/215-130 ПТ-60-130/13 ПТ-80-130/13	ЛМЗ	220	220	220	170
ПТ-60-90/13 К-50-90-4, К-100-90-6 ВК-100-5, ВК-50(1,2)	ЛМЗ	270	270	270	220
К-300-240	ХТЗ	170	170	220	170
К-160-130	ХТЗ	200	200	200	170

Контроль металла корпусной детали включает в себя [2]:

- визуальный осмотр поверхности зоны контроля, зачищенной от окалины;
- магнитопорошковый или вихретоковый контроль; при наличии ремонтных аустенитных заварок – травление;
- ультразвуковой контроль объемными волнами для определения толщины стенки детали и выявления объемных металлургических дефектов в зоне обнаруженных трещин;
- измерение глубины обнаруженных трещин различными методами.

Предельным состоянием для корпусных деталей паровых турбин является появление в них трещин определенной глубины, ограничивающих их надежную эксплуатацию в течение межремонтного периода. Эксплуатация таких деталей без выполнения специальных мероприятий по восстановлению надежности недопустима.

Для измерения глубины трещин применяют электропотенциальный, вихретоковый и механический методы.

При оценке глубины трещины механическим способом сначала различными неразрушающими методами (МПД, УЗК, цветная дефектоскопия, травление, вихретоковый метод и др.) уточняется длина дефекта. После этого осуществляется фиксирование трещины путем сверления глухих отверстий, служащих исходными отметками для последующего контроля, а также являющихся препятствием для дальнейшего развития дефекта. Эти сверления должны проводиться на глубину до 10 мм, глухие отверстия должны иметь диаметр 12 – 18 мм на необработанной поверхности и 3 – 5 мм на обработанной поверхности.

Максимальная глубина трещины оценивается по результатам сверления трех-пяти глухих отверстий диаметром 12–18 мм, равномерно расположенных по длине трещины и удаленных одно от другого не более чем на 100 мм, причем одно-два отверстия должны быть выполнены посередине трещины и на участке ее максимального раскрытия.

Сверление прекращается, когда визуально в результате контроля с подсветкой при углублении сверла на каждые 3 – 4 мм устанавливается, что дно гнезда сверления очистилось от дефекта. Для проверки отсутствия трещины в дне глухого отверстия применяется токовихревой метод контроля.

Одновременно в зоне трещины должна быть определена толщина стенки детали, что необходимо для оценки остаточного ресурса. Ее значение оценивается обычно с помощью ультразвукового толщиномера. При этом в качестве эталона следует использовать фланцы и

лапы этой же детали, толщина которых определяется штангенциркулем или другим измерительным инструментом. Допускается определять толщину стенки с помощью измерительных скоб и других механических приспособлений.

Расчетный ресурс корпусов включает определение значения наработки, рассчитанные по стадиям зарождения и развития трещины, согласно приведенной в [4] методике. Остаточный ресурс кованного корпуса определяется как разность между расчетным ресурсом и наработкой корпуса на момент проведения работ по продлению его срока службы, а литого, как время его живучести.

При обнаружении в корпусе трещин он подвергается ремонту. Решение о возможности эксплуатации корпуса с трещинами без ремонта (в частности с трещинами в недоступных для ремонта зонах), а также о методах, объеме и периодичности контроля такого корпуса принимается на основании заключения специализированной организации

Для корпусных деталей турбин, в которых обнаружены трещины, глубиной, превышающие 15% толщины стенки, кроме расчетных оценок остаточного ресурса проводится определение их допустимого времени живучести по фактической скорости роста трещины в соответствии с приведенной ниже методике. Решение о продлении срока эксплуатации таких деталей принимается на основании заключения специализированной организации с учетом результатов оценок остаточного ресурса по двум подходам, рассмотренным в [4].

Оценка остаточного ресурса корпусных деталей паровых турбин проводится в соответствии с методическими указаниями [4], которые внедрены с целью сокращения объема контроля литых корпусных деталей, уменьшения трудозатрат и расхода материала, увеличения продолжительности эксплуатации. Методические указания распространяются на детали паровых турбин, отработавшие свыше 50 тыс. часов, на которых при проведении очередного контроля по наблюдению за металлом энергооборудования обнаружены трещины.

Трещины удаляются частично или полностью, или оставляются без выборки в соответствии с ремонтной документацией. Очередной контроль проводится непосредственно в ранее поврежденной зоне.

Время работы до следующего контроля назначается на основе анализа данных по глубине трещин, обнаруженных при двух последних ремонтах и результатов оценки трещиностойкости металла, причем предельный срок между обследованиями следующий: внутренняя поверхность стопорных, регулирующих и защитных клапанов –  $25 \pm 10$  тыс. часов, а в других местах всех литых деталей – через  $50 \pm 10$  тыс. часов.

Периодичность контроля назначается следующим образом:

– при глубине трещины менее 40% от толщины стенки следующая проверка проводится с максимальным перерывом, допустимым действующей инструкцией, без учета трещиностойкости металла;

– если глубина трещины составляет 40% толщины стенки и более, то для установления максимальной наработки до очередного контроля определяют среднюю скорость роста трещины за межремонтный период, предшествующий ее появлению, и оценивают эффективную толщину стенки в зоне трещины. Затем по скорости роста трещины и эффективной толщине стенки детали определяют допустимое время живучести до появления сквозной трещины.

В случае частичного оставления трещины при ремонте, контроль за ее глубиной производится при каждом очередном обследовании.

На примере турбины ПТ-135-130/13 проведем оценку остаточного ресурса корпуса нижней части ЦВД.

На нижней части ЦВД турбины ПТ-135-130/13 после  $105 \cdot 10^3$  часов эксплуатации при обследовании в районе регулирующей ступени обнаружена трещина. При засверловке установлено, что ее максимальная глубина составляет  $h_T = 58$  мм. Время работы после ремонта  $\tau_{мрк} = 25 \cdot 10^3$  ч. Толщина стенки в месте повреждения  $S_{Ст} = 120$  мм.

В соответствии с методикой [4] сначала определяется условная глубина начального дефекта:

$$h_0 = 0,1 \cdot s_{CT} = 0,1 \cdot 120 = 12, \text{ мм.}$$

Средняя скорость роста трещины за первый межремонтный период рассчитывается по формуле:

$$V_{T1} = \frac{h_T - h_0}{\tau_{мкр}}, \text{ мм/час,}$$

где  $\tau_{мкр}$  – продолжительность межремонтного периода, за который возникла трещина (не менее 10 тыс.ч).

$$V_{T1} = \frac{58 - 12}{25 \cdot 10^3} = 1,84 \cdot 10^{-3} \text{ мм/час.}$$

Затем подсчитываем допускаемое время живучести корпусной детали, которое составляет 90% от времени образования сквозной трещины:

$$\tau_p = 0,9 \cdot \tau_c, \text{ ч}$$

где  $\tau_c$  – время работы до следующего осмотра, определяемое из выражения

$$\tau_c = \frac{S_{эф}}{V_T}, \text{ ч}$$

Здесь  $S_{эф}$  – значение эффективной толщины стенки,  $S_{эф} = s_{CT} - h_T$ , мм

$$\tau_p = 0,9 \cdot \frac{120 - 58}{1,84 \cdot 10^{-3}} = 30 \cdot 10^3 \text{ ч,}$$

При повторном осмотре через  $27 \cdot 10^3$  ч установлено, что трещина углубилась еще на 38 мм. Среднюю скорость роста трещины за второй межремонтный период определяется по формуле:

$$V_T = \frac{h_T'' - h_T'}{\tau_{мкр}}, \text{ мм/час}$$

где  $h_T'$  – глубиной первоначальной трещины, мм;  $h_T''$  – глубина новой выборки, мм.

$$V_{T2} = \frac{38}{27 \cdot 10^3} = 1,40 \cdot 10^{-3} \text{ мм/час.}$$

Качество металла нижней части ЦВД из расточки регулирующей ступени, где образовался дефект, оценивается по пробе, из которой изготавливается ударный образец.

Испытания металла ЦВД показали, что его горячая твердость ниже нормы (НВ = 84 при норме 85), что свидетельствует о пониженной длительной прочности металла; критическое раскрытие металла хорошее ( $\delta \geq 0,25$  мм).

Таким образом, налицо все признаки необходимости прекращения

эксплуатации детали: глубина трещины достигла 80% толщины стенки, скорость в 1,4 раза превысила допустимый уровень ( $10^{-3}$  мм/час).

Поэтому эксплуатацию корпуса целесообразно прекратить, провести его ремонт по более надежной технологии или заменить.

Прогноз выхода трещины на поверхность позволит станции своевременно подготовиться к замене цилиндра или его ремонту.

### Литература

1. Карницкий Н.Б. Синтез надежности и экономичности теплогенерирующего оборудования ТЭС. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 227с.ил.
2. Резинских, В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин/ В.Ф. Резинских,

В.И. Гладштейн, Г.Д. Авруцкий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 296 с.: ил.

3. СТП 09110.17.400-03. Инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, сосудов и трубопроводов тепловых электрических станций концерна «Белэнерго».

4. РД 34.17.440-96 «Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продления их эксплуатации сверх паркового ресурса». – М.: НПО ЦКТИ, 1196. – 153с.

УДК 621.311

## МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Мячин О.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Герасимова А.Г.

Энергосистема любого государства объединяет в едином технологическом процессе множество электростанций, осуществляющих в реальном времени выработку электроэнергии, и множество потребителей, получающих эту энергию от электростанций через передающие и распределительные электросети. Электроэнергия является товаром, который по существующим технологиям невозможно в больших количествах и долго хранить на складах, – этот товар необходимо потреблять в темпе его производства и, наоборот, производить или генерировать в темпе его массового потребления.

Условия работы энергетической системы и входящих в ее состав электростанций определяются режимом электро- и теплотребления обслуживаемого ими района. Они характеризуются соответствующими графиками нагрузок – суточными, недельными, годовыми.

Основной график нагрузки – суточный, представленный на рисунке 1. Электропотребление в течение суток резко меняется в относительно короткие промежутки времени, измеряемые часами и даже минутами, поэтому покрытие этого графика – наиболее сложная задача. Несколько проще покрытие недельной неравномерности, где основная трудность связана с неизбежным массовым остановом агрегатов в субботние и воскресные дни. Наименее сложна задача покрытия годовой неравномерности электро- и теплотребления.

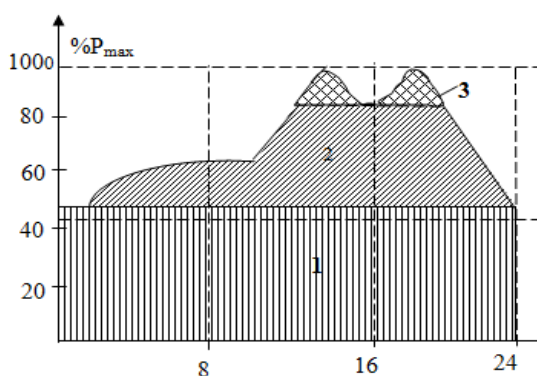


Рисунок 1 – Суточный график нагрузки

Суточный график отличается значительной неравномерностью. Нагрузка непрерывно изменяется, достигая в определенные моменты наибольшей и наименьшей величины. В ночной период сохраняется только нагрузка круглосуточных предприятий и освещения. В 6–8 утра нагрузка растет с возобновлением работы предприятий и транспорта. Провал наблюдается в 12–14 часов в связи с обеденным перерывом. Максимум имеет место в вечерние часы в связи с увеличением бытовой нагрузки. В каждый момент времени генерация электростанций с учетом импорта

электроэнергии должна быть равна потреблению электроэнергии, т.е. постоянно должен соблюдаться баланс электроэнергии и мощности. При невыполнении этого условия происходит изменение частоты электрического тока и перетока по межсистемным линиям электропередачи. Большие отклонения от баланса приводят к серьезным последствиям, связанным с обесточиванием потребителей, отключением генераторов электростанций и прочим. Поэтому в энергосистеме в каждый момент времени должен иметься резерв мощности, используемый для восстановления баланса в случае отклонения потребления электроэнергии от прогнозного значения либо при внезапном выходе из строя генерирующего оборудования.

Суточный график отчетливо подразделяется на постоянную и переменную части: первая отвечает минимальной нагрузке; вторая представляет собой всю площадь графика, расположенную выше минимальной нагрузки.

График нагрузки принято делить на 3 части: базовая; полупиковая; пиковая.

В сумме полупиковая и пиковая образуют зону переменной нагрузки. Максимальные и минимальные нагрузки являются наиболее важными точками.

Возможность участия электростанции в покрытии переменной части суточных графиков нагрузки, а так же регулировании частоты переменного тока в энергосистеме определяется ее маневренностью, которая в свою очередь, зависит от маневренности установленного на станции оборудования. Маневренность – это свойство или характеристика оборудования, отражающая, в каких пределах, с какой скоростью и в каком количестве за установленный срок эксплуатации может изменяться его мощность. В базовой части графика используется нагрузка, вырабатываемая наиболее инертными системами, такими как АЭС. В полупиковой области работают ТЭЦ, КЭС, ГТУ, ПГУ и др. Для покрытия пиковой области используют маловыгодные дизельгенераторы, ГТУ и ПГУ.

Основными факторами, влияющими на маневренность АЭС, являются:

- циклическая прочность конструкционных материалов оборудования и трубопроводов, зависящая от изменений температуры и давления;
- характеристики ядерного топлива, определяемые изменением в нем энерговыделения в переходных режимах;
- алгоритмы управления процессами в оборудовании, в том числе и во вспомогательных технологических системах.

Реальными шагами для улучшения ситуации с ночной разгрузкой ТЭЦ, регулирования режима работы энергосистемы, обеспечения высокоманевренного резерва мощности может быть один из вариантов, предложенных ниже.

1. Сооружение гидроаккумулирующей электростанции, которая позволит в ночные часы потреблять избытки мощности, а в часы максимальных нагрузок – покрывать часть электрической нагрузки. Это, в свою очередь, улучшит экономичность работы Белорусской энергосистемы за счет меньшего количества включенного оборудования, а также снизит потребность энергосистемы в конденсационной мощности.

2. Применение теплового аккумулирования энергии.

3. Установка пиковых газовых турбин, работающих только в часы максимальных нагрузок, позволит снизить величину включенного оборудования конденсационных электростанций и увеличить долю теплофикационной выработки ТЭЦ в ночные часы отопительного периода.

4. Применение для потребительских блок-станций дифференцированного по зонам суток тарифа на электроэнергию в целях исключения выдачи в энергосистему электроэнергии в часы ее избытков и стимулирования выдачи электроэнергии в пиковые часы.

5. Перевод всех потребителей на дифференцированный по зонам суток тариф на электроэнергию.

6. Применение электродвигателей для выработки тепловой энергии в ночные часы отопительного периода.

Наиболее перспективными являются первые два пункта, т.е. применение гидроаккумулирующих станций и теплового аккумулирования энергии. Аккумулирование на АЭС более перспективно, чем для других станций. Это объясняется следующими соображениями:

- аккумулирование энергии на АЭС позволяет избавиться от использования органического топлива;
- начальные затраты на блок АЭС очень высоки, и аккумулирование энергии позволяет максимально использовать эту существенную составляющую затрат;
- циклическая работа ядерного реактора вредна для топливных элементов и сложна, а аккумулятор позволяет снизить до минимума температурные колебания.

Тепловое аккумулирование на АЭС более перспективно, чем для станций, работающих на другом топливе. Системы аккумулирования питательной воды существенно ограничены в отношении пиковой мощности и оказывают сильное влияние на основную систему. В противоположность этому системы аккумулирования пара теоретически не ограничены по

пиковой мощности и представляют собой отдельные установки, связанные с основной станцией только линиями зарядки и возврата конденсата. Применительно к АЭС это рассматривается как преимущество. К таким системам относятся системы с внутренней генерацией пара и системы с внешней генерацией пара.

Если снижение потоков отбора в АЭС считается недопустимым, а перегрузка турбинной установки невозможна, то требуется специальная пиковая турбина. К преимуществам специальной пиковой турбины относят устранение ограничений мощности, вызванных аккумулярованием питательной воды и/или ограничениями впуска пара основной турбины. Тот факт, что система теплового аккумулярования энергии с основным блоком образует горячий резерв также является преимуществом этой схемы.

Аккумулярование энергии с помощью гидроаккумулярующих электрических станций (ГАЭС). ГАЭС – это насосно-аккумулярующая ГЭС, которая в одни периоды времени использует электроэнергию других электростанций из электросетей энергосистемы для преобразования ее в потенциальную энергию воды (прямое преобразование), а в другие периоды времени преобразует потенциальную энергию воды в электроэнергию (обратное преобразование), отдавая ее в электросети для покрытия пиков нагрузки энергосистемы. Гидротехнические сооружения ГАЭС состоят из двух бассейнов – верхнего (аккумулярующего) и нижнего (питающего), расположенных на разных уровнях и соединенных системой крупных наклонных трубопроводов (водоводов). Гидроагрегаты ГАЭС в зависимости от высоты напора воды оснащаются поворотными лопастными, диагональными, радиально-осевыми или ковшовыми гидротурбинами. Время пуска и смены режимов гидроагрегатов ГАЭС измеряется несколькими минутами, что определяет их высокую эксплуатационную маневренность. ГАЭС могут быть с суточным, недельным и сезонным циклами регулирования. Регулировочный диапазон ГАЭС близок к двухкратной величине ее установленной мощности, так как регулирование графика нагрузки энергосистемы осуществляется станцией как в насосном режиме (регулирование ночного провала), так и в генераторном (регулирование пика). Стандартные функции ГАЭС за последние десятилетия наполнились новым содержанием. Если изначально главной задачей ГАЭС была работа в генераторном режиме в часы пика нагрузки, а потребление электроэнергии при прямом преобразовании ГАЭС считалось неизбежным злом, снижающим КПД станции и повышающим стоимость ее пиковой энергии, то в новых условиях, при создании мощных тепловых блоков, особенно на атомных электростанциях, имеющих ограниченные возможности регулирования мощности, большой проблемой стало прохождение ночного минимума нагрузки, когда тепловые блоки не могут быть разгружены не только по техническим условиям, но и в связи с необходимостью несения тепловой нагрузки. При этом «зло зарядки» ГАЭС превращается для энергосистемы в благо, особенно в тех регионах, где преобладают АЭС. Кроме того, гидроагрегаты успешно используются и для регулирования в энергосистеме частоты и напряжения. С образованием в последнее десятилетие в электроэнергетике ряда стран оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) на первый план выходит также использование ГАЭС как источника быстро вводимого резерва активной мощности (для сравнения: современные газотурбинные или парогазовые установки требуют 5–10 мин для выхода на полную мощность против 2–3 мин у ГАЭС). Таким образом, в современной энергетике ГАЭС превращается в многофункциональный источник оказания системных услуг, способствующих не только оптимизации суточного графика нагрузок, но и повышению надежности и качества электроснабжения.

Рассмотрим вариант строительства ГАЭС мощностью 1200 МВт и строительство ГТУ аналогичной мощности. Себестоимость отпускаемой электроэнергии находится по формуле:

$$C_{\text{ээ}} = \frac{И}{\mathcal{E}_{\text{отп}}}, \quad (1)$$

где  $И$  – годовые издержки,  $\mathcal{E}_{\text{отп}}$  – годовой отпуск электроэнергии.

Годовой отпуск электроэнергии для данной ГАЭС находится по формуле 2:

$$\mathcal{E}_{\text{отп}} = N \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\Delta \mathcal{E}_{\text{сн}}}{100}\right) \quad (2)$$



где  $N$  – мощность станции,  $h$  – число часов использования установленной мощности,  $\Delta \mathcal{E}_{\text{сн}}$  – расход электроэнергии на собственные нужды.  
 Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица технико-экономических показателей

Наименование показателей	Обозначение	Размерность	ГАЭС	ГТУ
Установленная мощность	$N$	МВт	1200	1200
Число часов использования установленной мощности	$h$	ч/год	1400	1400
Годовой отпуск энергии	$\mathcal{E}$	МВт·ч	$169,94 \cdot 10^4$	$172 \cdot 10^4$
Удельные капиталовложения	$k_{\text{уд}}$	у.е./кВт	120	1000
Полные капиталовложения	$K$	у.е.	$144 \cdot 10^6$	$1200 \cdot 10^6$
Штатный коэффициент	$k_{\text{шт}}$	чел./МВт	0,2	0,3
Среднегодовая заработная плата	$Z_{\text{ср}}$	у.е./год	12000	10000
Норма амортизации	$N_a$	%	2	2
Топливные издержки	$I_t$	млн.\$/год	62,05	232,7
Издержки на амортизацию	$I_a$	млн.\$/год	2,88	24
Издержки на ремонт	$I_r$	млн.\$/год	1,73	7,2
Издержки на заработную плату	$I_{\text{зп}}$	млн.\$/год	4,03	3,6
Прочие издержки	$I_{\text{пр}}$	млн.\$/год	1,73	3,38
Себестоимость электроэнергии	$C_{\text{ээ}}$	у.е./кВт·ч	0,043	0,157

### Выводы

1. В результате расчетов видно, что себестоимость электроэнергии на ГАЭС более чем в 3 раза дешевле, чем энергия, выработанная на аналогичной по мощности ГТУ (0,043 \$/кВтч против 0,157 \$/кВтч).

2. ГАЭС являются в условиях современного индустриального общества эффективным маневренным инструментом суточного (в пиковые и ночные часы), недельного (в рабочие и выходные или праздничные дни) и сезонного (в отопительный и межотопительные периоды) регулирования графика нагрузки энергосистемы, повышения качества и надежности электроснабжения, обеспечения быстрых поставок электроэнергии на оптовый и розничные рынки электроэнергии.

3. ГАЭС являются быстро окупаемыми (до 7 – 8 лет) и сравнительно мало затратными сооружениями как по капитальным (100 - 300 долл. на установленный кВт мощности против 700 - 800 долл. для ТЭС или ТЭЦ), так и эксплуатационным расходам (0,2 единицы персонала на 1 МВт установленной мощности, отсутствие топливной составляющей).

4. ГАЭС, в отличие от ГЭС, используют для выработки электроэнергии воду в почти замкнутом цикле (с подпиткой от открытого источника) и наносят минимальный экологический ущерб окружающей природе.

### Литература

1. Бродянский В.М. Тепловое аккумулирование энергии. – М.: Мир, 1987.
2. Гуртовцев А.Л. Гидроаккумулирующие электростанции. – РУП «БелТЭИ».
3. Качан А.Д. Технико-экономические расчеты / А.Д. Качан, Б.В. Яковлев. – Мн.: Вышэйшая школа, 1982.
4. Тепловые и атомные электрические станции / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

УДК 621.311.25

## СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДНОГО РАБОЧЕГО ТЕЛА НА ТЭС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Римашевская Е.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Современное состояние технологии подготовки водного теплоносителя на ТЭС Республики Беларусь определяется состоянием и перспективами развития основного теплоэнергетического оборудования.

На водоподготовительных установках (ВПУ) ТЭС Белорусской энергосистемы используется, в основном, традиционная ионообменная технология подготовки обессоленной воды. При всех её достоинствах серьёзной проблемой остаётся использование значительного количества реагентов и, как следствие, образование больших объёмов агрессивных сточных вод [2].

В республике реализуется Государственная научно-техническая программа (ГНТП) развития Белорусской энергетической системы на период до 2016 г. В её рамках велись и ведутся работы по реконструкции ряда электростанций, на базе существующих котельных строятся мини-ТЭЦ. Кроме того, результатом этой программы стало введение новых генерирующих мощностей, в том числе парогазовых установок (ПГУ) на Березовской, Лукомльской ГРЭС, Жодинской ТЭЦ. Требования к качеству водного теплоносителя на энергоблоках ПГУ приближаются к требованиям для прямоточных котлов сверхкритического давления (СКД), а по некоторым параметрам – превосходят их [3,4].

Новые направления в водоподготовке представлены, прежде всего, противоточными и баромембранными технологиями. Как правило, для таких установок требуется высокая степень автоматизации управления, они требуют более тщательной предварительной очистки воды и могут стать наиболее перспективными на ближайшие годы.

Традиционно используемые ионообменные технологии постепенно теряют конкурентоспособность ввиду значительного повышения цен на ионообменные смолы, кислоту и щелочь, а также увеличения платы за водопользование и сброс минерализованных стоков [1,5,6]. Надёжность работы обратноосмотических мембран в значительной степени зависит от качества исходной воды по содержанию в ней взвесей, коллоидов, органических веществ, биологических загрязнений [2,5]. По результатам многочисленных исследований наиболее перспективной для удаления таких примесей признана технология ультрафильтрации, основными преимуществами которой являются высокое качество очищенной воды, компактность технологического оборудования, достигаемая за счет высокой площади поверхности фильтрования в мембранных аппаратах, и низкий расход электроэнергии и воды на собственные нужды [2].

Мембранные установки обратного осмоса (УОО) на Осиповичской и Вилейской мини-ТЭЦ служат для приготовления подпиточной воды для котлов низкого давления 14 и 24 кгс/см<sup>2</sup>. Использование обессоленной воды для котлов низкого давления при традиционно принятом умягчении связано как с требованиями к качеству пара, поступающего на турбины мини-ТЭЦ, так и с жёстким ограничением стоков.

В условиях Вилейской мини-ТЭЦ были проведены эксперименты по очистке воды с использованием передвижной пилотной установки, разработанной и изготовленной Институтом физико-органической химии (ИФОХ) НАН Беларуси в рамках выполнения одного из заданий ГНТП «Энергетика-2010», по результатам которых в марте 2007 г на Вилейской мини-ТЭЦ была введена в эксплуатацию УОО [5].

Однако необходимо отметить, что в энергетике Беларуси отсутствуют подготовленные кадры для обслуживания и ремонта мембранных установок. Существуют проблемы и с расходными материалами.

Для обеспечения энергообъектов отечественным мембранным оборудованием в соответствии с ГНТП «Энергетика 2010» ИФОХ НАН Беларуси совместно с ОАО «Белэнергоремналадка» (БЭРН) разработана технология получения высокопроизводительных капиллярных мембран (КМ) и мембранных элементов на основе полисульфона и организовано на базе ОАО БЭРН производство установок ультрафильтрации [1,2,5].

Особенно актуальными в настоящее время остаются вопросы оснащения ТЭС приборами автоматического химического контроля (АХК) и оперативной непрерывной обработки их показаний, т.к. внедрение на базе микропроцессорной техники автоматизированных систем ведения ВХР) электростанций существенно повышает экономичность и надежность работы оборудования ТЭС. Приведение систем мониторинга ВХР ТЭС в надлежащий вид, безусловно, даст экономию топлива, повысит надежность работы электростанций и котельных. Филиалом «Витебский опытно-экспериментальный завод» РУП «БЕЛТЭИ» были изготовлены и поставлены устройства подготовки пробы (СУПП и УПП) с анализаторами серии АТЛАНТ, выпускаемыми ЗАО «АТРЭКО», для электростанций России и Беларуси.

Таким образом, современное состояние технологии подготовки водного теплоносителя на ТЭС РБ соответствует требованиям отечественных и зарубежных норм. Имеется резерв в совершенствовании химико-технологического мониторинга и водного режима действующего оборудования и новых энергоблоков, создана научная и материально-техническая база для дальнейшего совершенствования и развития новейших мембранных процессов на основе капиллярных мембран.

#### Литература

1. Бильдюкевич А.В. Капиллярные мембраны для водоподготовки. "Энергетическая стратегия", № 4 (29), 2009. С.54-58.
2. Бильдюкевич А.В., Шункевич А.А., Хаютина Е.С. Водоподготовка. Новые технологии удаления органических соединений из природных вод. "Энергетическая стратегия", № 5 (29), 2012. С.49-54.
3. Воронов В.Н., Петрова Т.И. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС. М.: Изд. дом МЭИ, 2009. С. 50-62.
4. Воронов В.Н., Петрова Т.И. Совершенствование водно-химических режимов и химконтроля на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. 2010. № 7. С. 2-6.
5. Евдокименко В., Хаютина Е.С., Бильдюкевич А.В. Ультрафильтрация для очистки воды на Вилейской мини-ТЭЦ. "Энергетика и ТЭК" (научно-производственный журнал)/ Энергосбережение. 01.04.2008
6. Ларин Б.М., Ларин А.Б. Состояние технологии подготовки водного рабочего тела на отечественных ТЭС. "Теплоэнергетика", № 1, 2014 г. С. 75-80.

УДК 621.3

## ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ ТРАНСМУТАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕСС ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Пташиц К.П.

Научный руководитель – инженер Денисов С.М.

В настоящее время ядерная энергетика ограничена уран-плутониевым топливным циклом (как в области реакторов на тепловых, так и реакторов на быстрых нейтронах). Это объясняется наследственностью ядерных технологий из военной сферы. Вследствие этого многие недостатки данного решения, не являющиеся существенными в условиях «холодной войны» и долговременного симметричного наращивания вооружений, превратились в существенный тормозящий фактор для распространения и популяризации «мирного атома». Одним из таких недостатков является накопление в процессе уран-плутониевого топливного цикла долгоживущих, высокотоксичных и высокоактивных продуктов деления. Даже в случае выделения данных изотопов из отработанного ядерного топлива (ОЯТ) проблема их изолирования и захоронения представляется весьма трудоёмкой даже для современных технологий, поскольку период полураспада многих из них превышает десятки тысяч лет, за которые даже устойчивые ныне геологические формации могут стать нестабильными и не смогут изолировать представляющие радиоактивную опасность материалы. Большая часть короткоживущих продуктов деления успевает распасться в течение первых 100 лет выдержки, что заметно снижает дозовые показатели топлива, однако оставшиеся долгоживущие изотопы сохраняют свою активность в течение многих тысяч лет. В таблице 1 [1] представлен состав наиболее активных продуктов деления ядерного топлива в расчёте на один твэл реактора ВВЭР-1000 после 3-летней кампании.

Таблица 1 – Параметры наиболее опасных продуктов деления ядерного топлива

Изотоп	Период полураспада, лет	Активность при выгрузке, Бк/твэл
$^{135}\text{Cs}$	2300000	$2,99 \cdot 10^7$
$^{137}\text{Cs}$	30,17	$4,83 \cdot 10^{12}$
$^{129}\text{I}$	15700000	$2,37 \cdot 10^6$
$^{79}\text{Se}$	65000	$2,52 \cdot 10^7$
$^{126}\text{Sn}$	100000	$3,92 \cdot 10^7$
$^{99}\text{Tc}$	212000	$9,94 \cdot 10^8$
$^{93}\text{Zr}$	1530000	$1,4 \cdot 10^8$

Несмотря на развитие альтернативных топливных циклов и технологий, таких, как ториевый топливный цикл и термоядерный синтез, данные проекты всё ещё далеки от надёжной технологической реализации. Скорее всего, в ближайшие десятилетия значительных продвижений в данных областях не произойдёт. В связи с этим одним из немногих реально осуществимых вариантов существования и развития ядерной энергетики становится закрытый ядерный топливный цикл с использованием уран-плутониевого топлива для тепловых и быстрых реакторов. При переходе на закрытый топливный цикл появится возможность выжигать радиологически опасные трансплутониевые актиноиды, образующиеся при работе реакторов на тепловых нейтронах. Как упоминалось выше, это выступит преимуществом по сравнению с открытым топливным циклом, поскольку позволит избавиться от значительной части долгоживущих высокоактивных делящихся изотопов. При этом сама по себе реализация закрытого топливного цикла не решает проблему накопления вышеописанных долгоживущих и высокоактивных продуктов деления.

Для уменьшения количества данных изотопов и трансплутониевых элементов, накапливающихся в реакторе, упрощения способов их изоляции, а также минимизации

дальнейших рисков всё чаще предлагается использовать трансмутацию отработанного ядерного топлива. Данный процесс позволяет изменить элементный или изотопный состав ядерных отходов, тем самым сокращая их период полураспада и общую активность. Основными плюсами трансмутации являются:

теоретическая возможность осуществления данного процесса как посредством нынешних технологий (добавление изотопов в реакторное топливо, использование изотопов в отражателе быстрого реактора, облучение частицами на ускорителях), так и с помощью технологий будущего (помещение изотопов в первую стенку термоядерного реактора, смешение с топливом ториевого топливного цикла). Это позволяет плавно перейти с одной ядерной технологии на другую, минимизируя нагрузку на окружающую среду и будущие поколения, а также несёт перспективы полезного сосуществования, к примеру, уран-плутониевого и термоядерного циклов;

снижение нагрузки на хранилища радиоактивных отходов путём упрощения конструктивных требований вследствие снижения активности, общего количества и срока жизни помещаемых радионуклидов;

возможность реализации реального закрытого топливного цикла, что снизит зависимость ядерной отрасли от добычи урановой руды и обогащения топлива по  $^{235}\text{U}$ . Тем самым также станет возможна утилизация накопленного оружейного и реакторного плутония;

инвестиции в данную область знаний позволят лучше изучить различные топливные циклы, что в конечном итоге должно повлечь максимизацию полезного использования имеющегося ядерного топлива и минимизацию отходов;

как следствие уменьшения количества опасных продуктов деления и реализации ЗЯТЦ, появится возможность безопасного экспорта ядерной энергетики, при котором отработанное топливо возвращается для контроля и рециркуляции к его поставщику. Многие страны отказываются от ядерной энергетики именно по причине невозможности или законодательного запрета на захоронение на своей территории долгоживущих радиоактивных отходов;

улучшение имиджа ядерной энергетики в глазах общественности, т.к. проблема с размещением и захоронением ядерных отходов на территории тех или иных государств будет минимизирована, а также появятся гарантии уничтожения наиболее опасных радионуклидов.

Трансмутация ядерного топлива, наряду с развитием ядерных топливных циклов и термоядерного синтеза, является одной из наиболее прогрессивных отраслей ядерной энергетики. Данная технология позволяет решать многие проблемы, с которыми сталкиваются страны, имеющие действующие АЭС. Роль трансмутации во многом перекликается и дополняет роль самой ядерной энергетики, которая, несмотря на имеющиеся недостатки, превосходит по эффективности и гибкости как альтернативные возобновляемые источники энергии, так и традиционные энергетические технологии на основе органического топлива. Именно этим объясняется наличие и активное развитие ядерной энергетики в странах с высоким научным потенциалом (Франция, Бельгия, Великобритания, США, Россия, Япония, Канада, Южная Корея а в последнее время – Индия и Китай). Данные страны представляют собой не только лидеров в научной сфере, и, в частности, в сфере энергетики, но и являются лидерами в экономической области. Желание данных стран продвигать ядерную энергетику на экспорт, внедрять новейшие технологии в промышленное производство показывают как экономическую, так и эксплуатационную целесообразность увеличения доли энергии, вырабатываемой на АЭС, в общем объёме энерговыработки. В связи с этим, развитие технологий трансмутации неизбежно, и роль её в дальнейшем развитии ядерной энергетики неоспорима.

#### Литература

1. М. Колобашкин, П. М. Рубцов, Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1983 – 384 с.

УДК 621.311.25

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА ТВСА

Секлюцкий Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

С момента пуска первого реактора ВВЭР непрерывно совершенствуется ядерное топливо с целью повышения эффективности его использования: для увеличения выработки электроэнергии путем повышения тепловой мощности реактора, обеспечения работы АЭС в широком диапазоне маневренных режимов и др. Характер усовершенствований тепловыделяющих сборок для реакторов ВВЭР соответствует мировым тенденциям улучшения топлива водо - водяных реакторов с водой под давлением.

ОАО «ОКБМ Африкантов» проведены работы по совершенствованию конструкции ТВСА для реакторов ВВЭР. Одним из направлений совершенствования конструкции ТВСА является применение перемешивающих решеток-интенсификаторов (ПР). Основной задачей внедрения ПР является повышение теплотехнических запасов до кризиса теплоотдачи и эксплуатационной надежности за счет выравнивания температур твэлов и снижения локального паросодержания.

Применение ТВСА с перемешивающими решетками (ПР) в реакторах ВВЭР требует обоснования теплотехнической надежности активных зон и определения влияния конструкций решеток на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя.

Обоснование теплотехнической надежности активных зон ядерных реакторов во многом базируется на теплогидравлическом расчете, что в свою очередь требует большой информативности и высокой достоверности параметров и значений локальных гидродинамических характеристик. Таким образом, надежный теплогидравлический расчет требует проведение значительного комплекса экспериментальных исследований и развитие новых методов расчета локальных гидродинамических и массообменных характеристик потока.

Весьма важной задачей перемешивающих устройств является выравнивание температур (энтальпий) по сечению сборок, улучшение ситуации в наиболее напряженных ячейках ТВС, повышение запасов до кризиса теплоотдачи и др. Это достигается использованием в решетках лопаток, дефлекторов потока и других элементов, обеспечивающих перемешивание теплоносителя в поперечном сечении ТВС. Наличие подобных элементов может привести к заметному повышению гидравлического сопротивления самой сборки, что будет являться нежелательным фактом. Поэтому, оптимальная конструкция решетки требует поиска вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров, как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

Ввиду этого экспериментальное исследование условий и закономерностей формирования локальных и интегральных характеристик гидродинамики потока теплоносителя с получением обобщающих зависимостей является важной задачей, решение которой позволило обосновать теплотехническую надежность активной зоны реактора.

Таким образом, особенности конструкции ТВСА реактора ВВЭР - 1000 требуют детального изучения и анализа локальных характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамических характеристик потока теплоносителя.

Учитывая сложность математического описания трехмерного течения жидкости в пучке твэлов – многосвязной области с анизотропией коэффициентов переноса, криволинейными границами и отрывами пограничного слоя, а также технические вычислительные трудности, основным методом изучения гидродинамики сборок твэлов и

активных зон реакторов в целом является экспериментальное исследование масштабных и полноразмерных моделей кассет и активных зон на аэро- и гидродинамических стендах.

Экспериментальный стенд для исследований локальных характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамических характеристик потока теплоносителя в модели активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух (рисунок 1).

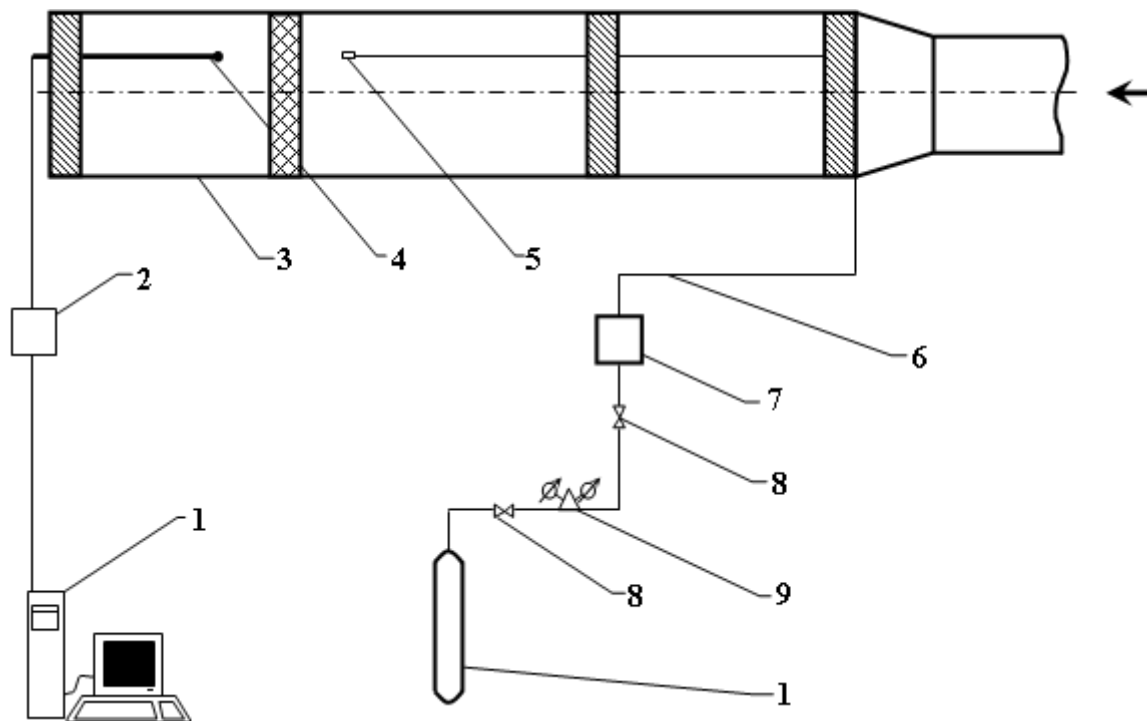


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

1 – ЭВМ, 2 – модульный газоанализатор, 3 – экспериментальная модель, 4 – устройство отбора проб трассера, 5 – устройство ввода трассера в ячейку ЭМ, 6 – подвод трассера, 7 – расходомерное устройство, 8 – запорная и регулирующая арматура, 9 – редуктор, 10 – газовый баллон

Общий вид экспериментального стенда представлен на рисунке 2.

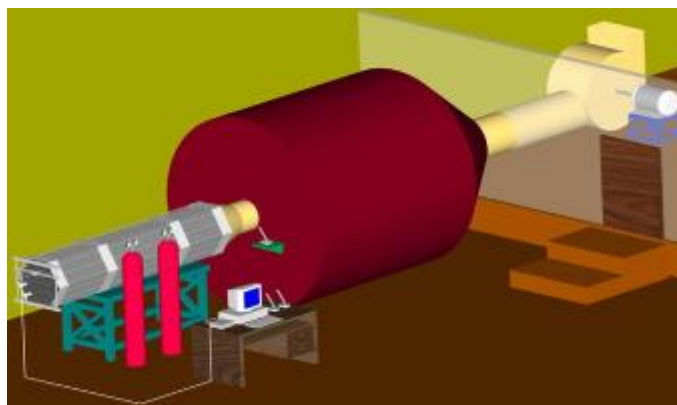


Рисунок 2 – Общий вид экспериментального стенда

В состав экспериментального стенда входят: вентилятор высокого давления, экспериментальная модель (ЭМ), расходомерное устройство с участками стабилизации потока, система подачи и отбора трассера; регулирующая арматура; измерительный комплекс.

Исследование локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя в экспериментальных моделях осуществлялось методом диффузии примесей (метод трассера). Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.). Принцип проведения экспериментальных исследований на экспериментальном стенде заключается в том, что поток воздуха посредством радиального вентилятора высокого давления поступает в ресиверную емкость, движется через расходомерное устройство и успокоительный участок, а затем, пройдя через ЭМ, выбрасывается в атмосферу. Трассер подается в характерную ячейку пучка твэлов в начале исследуемого участка и также выбрасывается в атмосферу вместе с газовой воздушной смесью. Выравнивание неравномерностей распределения скорости на входном участке в поперечном сечении модели осуществляется уравнивающей решеткой, установленной на входе в ЭМ.

Экспериментальная модель, представляющая собой фрагмент активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА (рисунок 3), включает в себя сегменты трех топливных кассет и межкассетное пространство.

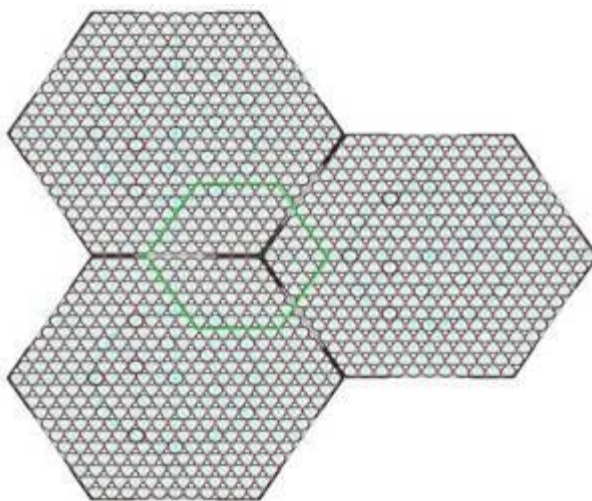


Рисунок 3 – Фрагмент активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА

Экспериментальная модель (рисунок 4) выполнена с коэффициентом геометрического подобия  $K_r = 4,4$ , имеет длину  $L = 3$  м и состоит из следующих элементов: шестигранного чехла, девяноста четырех цилиндрических твэлов-имитаторов с описанными диаметрами  $40 \pm 0,5$  мм, устройства фиксации датчика, поясов дистанционирующих решеток, поясов перемешивающих решеток.

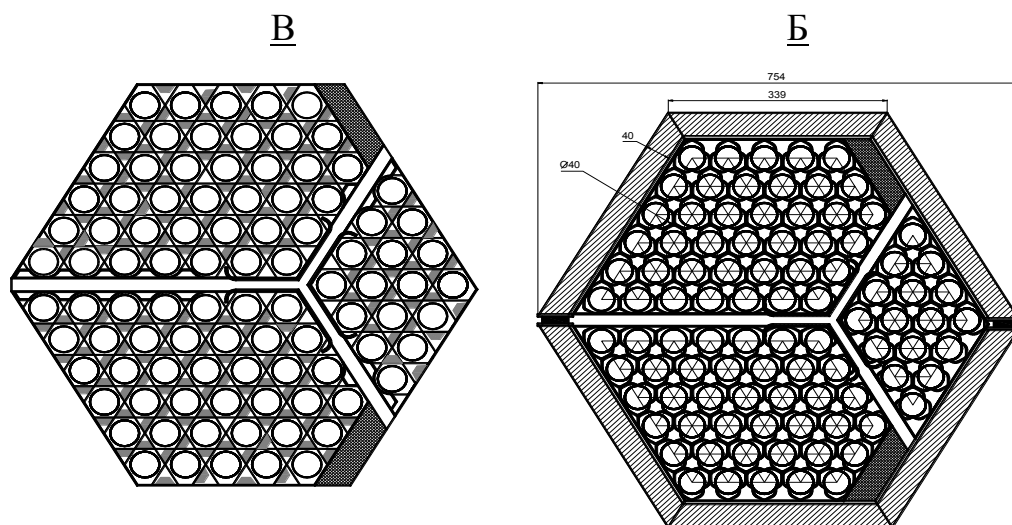


Рисунок 4 – Схема экспериментальной модели с перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка»



Моделирование стандартных ячеек осуществляется строгим дистанционированием пучка цилиндрических твэлов-имитаторов в вершинах правильных треугольников посредством трех поясов дистанционирующих решеток.

Пояса перемешивающих решеток изготавливались из полос листового железа толщиной 1,2 мм, готовые полосы собирались соответствующим образом. Исследуемый пояс перемешивающей решетки представлен на рисунке 5. Высота ячеек перемешивающей решетки составляет 66 мм (что соответствует 15 мм натурной ПР). Перемешивающая решетка имеет турбулизирующие дефлекторы, которые улучшают перемешивание потока теплоносителя. Величина угла отгиба турбулизирующего дефлектора составляла  $30^\circ$ , а высота – 19,8 мм (что соответствует высоте 4,5 мм натурального дефлектора).

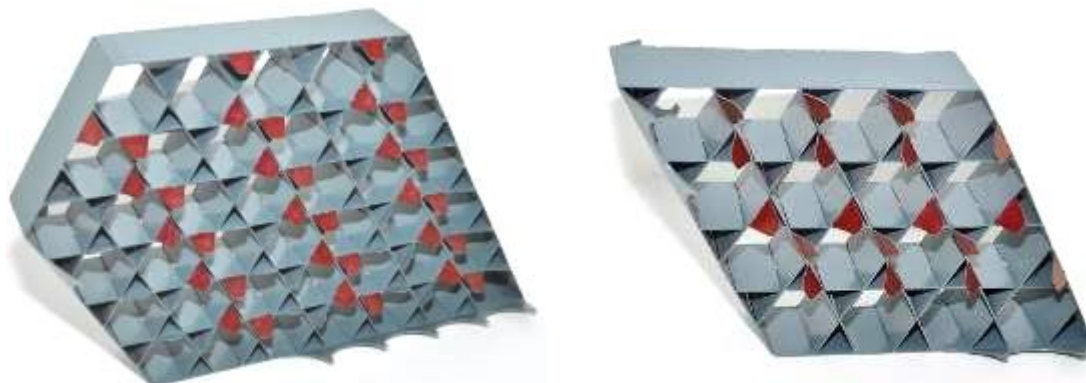


Рисунок 6 – Пояс перемешивающей решетки типа «порядная прогонка»

Подвод трассера из газового баллона осуществляется через запорную и регулирующую арматуру, расходомерное устройство и впускной зонд. Для измерения расхода газа предназначен газовый расходомер ИРГ-1000. По принципу работы прибор относится к тепловым расходомерам неконтактного типа. Эти расходомеры измеряют массовый расход газа, поэтому их показания не зависят от его давления. Предел допускаемого значения основной приведенной погрешности прибора с учетом индивидуальной градуировки равен  $\pm 1,5\%$ . Из расходомера ИРГ-1000 пропановый трассер поступает во впускной зонд, который имеет вид монолитной втулки, врезаемой в твэл в месте инъекции. Для равномерного распределения газа по сечению ячейки предусмотрены короткие Г-образные штуцеры, на выходе из которых установлены специальные рассеивающие насадки. Выходное отверстие штуцера вместе с рассеивающим насадком позиционируется по центру ячейки.

Для отбора проб трассера использовался зонд, выполненный в виде трубки Пито-Прандтля и позволяющий определять значения осевой скорости, статического и полного давлений в исследуемой точке, а также одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода для подачи трассера в газоанализатор.

Анализ проб газовой смеси производится газоанализатором, принцип работы которого основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения.

Для управления и постоянного мониторинга экспериментальных данных, получаемых газоанализатором, разработан программный комплекс «ТРАССЕР-П». В программном комплексе реализованы возможности построения графика изменения концентрации в зависимости от времени, а также непосредственный мониторинг динамики изменения концентрации в режиме реального времени и записи значений в файл.

#### Литература

1. Бородин С.С. Особенности гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА реактора ВВЭР / С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, А.Е. Хробостов. – Известия высших

учебных заведений. Ядерная энергетика, 2010. – №1.

2. Бородин С.С. Исследования массообменных характеристик и эффективности перемешивающих решеток ТВСА-АЛЬФА реакторов ВВЭР / С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, М.А. Легчанов, А.Е. Хробостов – Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену в восьми томах, г. Москва, 2010., том 1, С. 177-180.

УДК 620.93:681.515

## АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ БАРАБАННОГО КОТЛА

Парусова О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Для обеспечения требуемого водного режима барабанных котлов необходимо систематически удалять из них соли, поступающие с питательной водой, иначе будет происходить быстрое увеличение солесодержания и щелочности котловой воды и ее вспенивание, а также возникнут коррозионные разрушения металла котла и возможный унос солей паром. Существуют два вида продувки котла (удаления солей): периодическая и непрерывная.

Периодическая продувка котла проводится через определенные промежутки времени и предназначается для удаления шлама из нижних точек агрегата (барабана, коллекторов и др.). Она проводится кратковременно, но с большим сбросом котловой воды, которая при своем движении увлекает находящийся в барабане или коллекторе шлам и выносит его наружу в расширитель продувочной воды.

Непрерывная продувка производится из солевых циклонов котла и обеспечивает постоянный отвод растворенных в котловой воде солей, что предотвращает образование отложений на внутренних поверхностях нагрева и обеспечивает нормальный водный режим котла и требуемую чистоту пара.

В данной работе рассматривался вопрос автоматизации непрерывной продувки барабанного котлоагрегата БКЗ-75.

Для существующих на ТЭС условий эксплуатации барабанных котлов величина непрерывной продувки должна быть в пределах от 0,5% до 1% от паропроизводительности котла. Продувочную воду направляют в расширитель продувочной воды, в котором происходит отделение пара от воды. Выделившийся в расширителе пар сепарируется и направляется в деаэратор для использования его тепла и получения из него конденсата, а упаренная продувочная вода с высоким содержанием солей направляется в поверхностные подогреватели, а затем – в барботер и в канализацию.

Поскольку для котлов БКЗ-75 предусмотрена трехступенчатая схема испарения с двумя выносными циклонами, где в основном и концентрируется вынос солей, то и непрерывная продувка обеспечивается по двум независимым друг от друга линиям (с правого и левого солевых циклонов) со сбросом в общий расширитель. На каждой линии имеется свой регулирующий клапан для системы продувки котла по общему солесодержанию.

Перечень объектов автоматизации:

- структурная схема автоматической системы регулирования непрерывной продувки построена на базе ПИ-регулятора с использованием аналоговой аппаратуры регулирования;
- схема АСР трехимпульсная: нагрузка котла по расходу пара, расход на непрерывную продувку и электропроводность котловой воды в солевом отсеке циркуляционного контура котла;
- задающим сигналом является импульс по расходу пара, тогда сигнал по расходу на непрерывную продувку является сигналом обратной связи, а сигнал по электропроводности котловой воды является корректирующим.

В номенклатуру оборудования систем автоматических продувок котлов входят контроллеры-регуляторы, датчики-сигнализаторы электрической проводимости воды, датчики расхода и давления, продувочные клапаны и сопутствующая трубопроводная арматура.

В качестве корректирующего и стабилизирующего регулятора было выбрано микропроцессорное устройство ОВЕН ПЛК 150. Рассмотрим его преимущества перед регулятором КАСКАД: построение системы управления и диспетчеризации на базе ОВЕН

ПЛК возможно как с помощью проводных средств – используя встроенные интерфейсы Ethernet, RS-232, RS-485, так и с помощью беспроводных средств – используя радио, GSM, ADSL модемы; шесть вводов дискретного сигнала и четыре ввода аналогового сигнала; расширение количества точек ввода\вывода осуществляется путем подключения внешних модулей ввода\вывода по любому из встроенных интерфейсов; широкие возможности самодиагностики контроллера; встроенные часы реального времени; встроенный аккумулятор, позволяющий «пережить» пропадание питания – выполнять программу при пропадании питания, и переводить выходные элементы в «безопасное состояние»; возможность работы по любому нестандартному протоколу по любому из портов, что позволяет подключать устройства с нестандартным протоколом (электро-, газо-, водосчетчики, считыватели штрих-кодов и т.д.); набор готовых программных модулей, предоставляемых бесплатно и др.

Так как ОВЕН ПЛК 150 имеет четыре входа для аналоговых сигналов, а требуется шесть, то для дополнительного ввода двух аналоговых сигналов выбираем модуль ОВЕНМВ110 - 2АС. Регулирующим органом для непрерывной продувки был выбран клапан SpiraxSarcoBCV30 – электрогидравлически управляемый регулирующий клапан для продувки паровых котлов или выполнения других задач. Задатчиками ручного управления стали задающие устройства ЗУ-50. Датчиком расхода пара был выбран Метран-370 – 40 предназначенный для измерения объемного расхода электропроводных жидкостей, пульп, эмульсий и т.п.. Многоканальный регистратор Метран-900 был выбран для сбора, обработки и регистрации информации, поступающей от датчиков с выходным унифицированным сигналом, сигналом взаимной индуктивности и датчиков температуры, измеряющих параметры технологических процессов. Контроллер ВС3100 фирмы SpiraxSarco используется вместе с датчиком электропроводности фирмы SpiraxSarco для контроля и управлением концентрацией растворимых веществ в котловой воде, а также для контроля качества конденсата путем определения его электропроводности.

Регулирование непрерывной продувки осуществляют воздействием контроллера на регулирующий клапан на линии продувки. На вход контроллера помимо корректирующего сигнала по значению солесодержания поступает сигнал по расходу продувочной воды и сигнал по расходу перегретого пара. Задающим сигналом является импульс по расходу пара, получаемый от расходомера 7 (сигнал является общим для двух циклонов). Тогда сигнал по расходу на непрерывную продувку, получаемый от расходомера 2 и 5 (для соответствующих циклонов), является сигналом обратной связи, а сигнал по электропроводности котловой воды, получаемый от датчика электропроводности, получаемый от датчика солесодержания 3 и 4, является корректирующим. Обработав все данные, регулятор подает сигнал на открытие/закрытие регулирующего органа – РКЛ, РКП. Непрерывная продувка ведется на сепаратор непрерывных продувок. В сепараторах часть продувочного объема в виде пара возвращается в цикл через линию греющего пара на деаэраторы. Другая – в виде воды высокого солесодержания идет в бак подпитки теплосети или дренируется.

Структурная схема системы управления представлена на рисунке 1, функциональная схема системы управления представлена на рисунке 2.

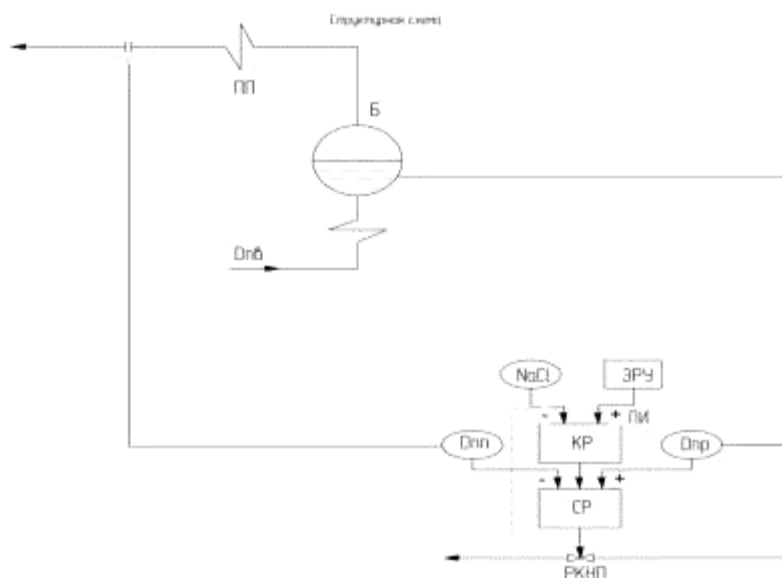


Рисунок 1 – Структурная схема непрерывной продувки БК:

Б – барабан котлоагрегата; ЗРУ – задатчик; КР – корректирующий регулятор;

ПИ – пропорционально-интегральный регулятор; ПП – пароперегреватель;

РКНП – регулятор непрерывной продувки пароперегревателя; СР – стабилизирующий регулятор; Дпп – датчик расхода пара; Дпр – датчик расхода воды на непрерывную продувку; NaCl – датчик соледержания

Нормы качества котловой воды, режимы непрерывной и периодической продувок должны быть установлены на основе инструкции завода изготовителя котла, типовых инструкций по ведению водно-химического режима или результатов тепло-химических испытаний. Результат реализации приведенных схемотехнологических решений позволяет поддерживать качество котловой воды в заданных технологическим регламентом параметров, что благоприятно сказывается на надежности работы и ресурсе основного тепломеханического оборудования ТЭС, в частности на работе паровых котлов и турбоагрегатов.

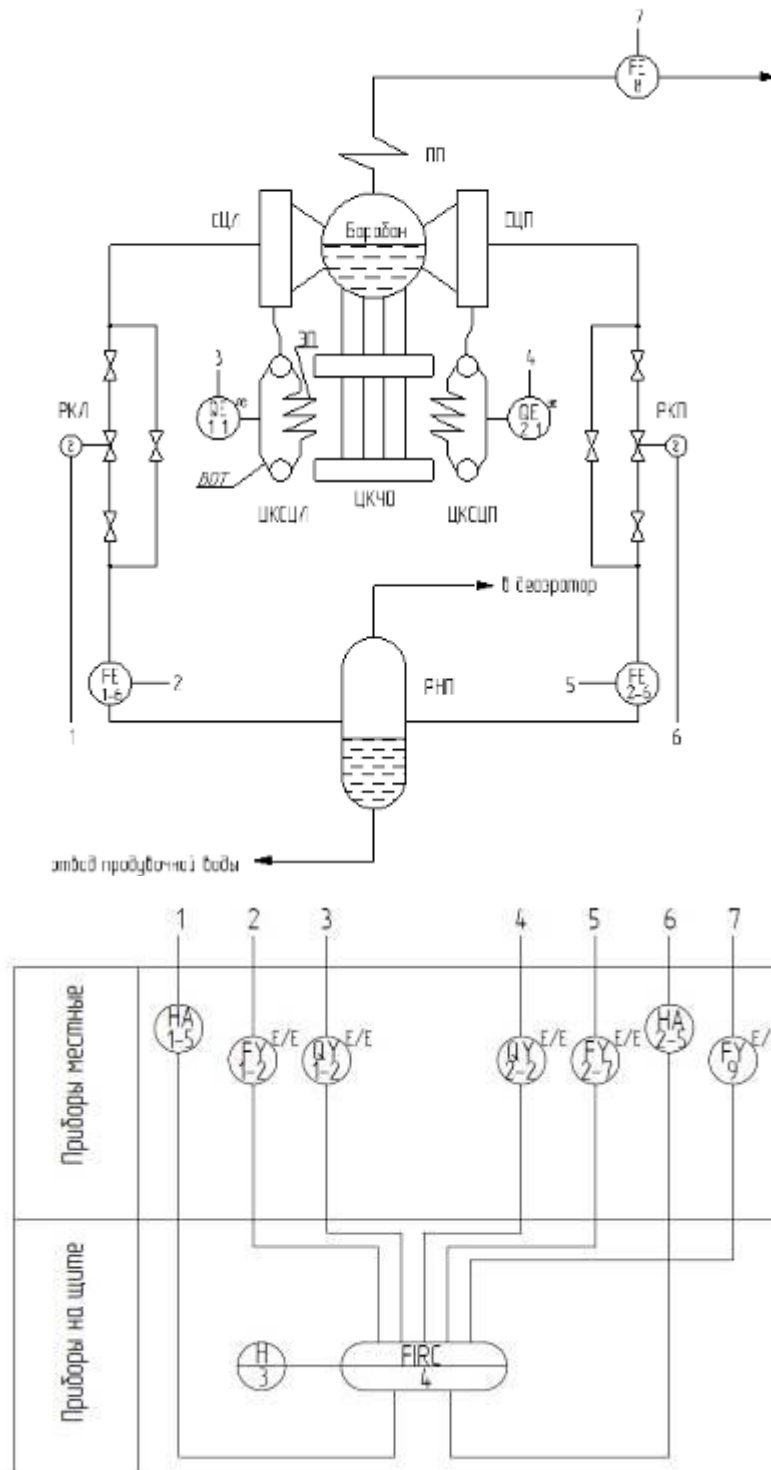


Рисунок 2 – Функциональная схема регулирования непрерывной продувки БК:

ВОТ–водоопускная труба; ПП – пароперегреватель; 1 – РКЛ, РКП – регулирующий клапан левый, правый; РНП – расширитель непрерывной продувки; СЦЛ, СЦП – солевой циклон левый, правый; ЦКСЦЛ, ЦКСЦП – циркуляционный контур солевого циклона левого, правого; ЦКЧО – циркуляционный контур чистого отсека; ЭП – экранная поверхность; FE – расходомер; FIRC – регулятор показывающий соотношения расхода, регистрирующий, дающий команду на включение/отключение исполнительного механизма; 2, 5, 7 – FY – преобразователь сигнала (Y) расхода (F) в электрический сигнал (E-E на входе и выходе); H – задатчик ручного управления; 6 – HA – ключ управления со встроенной лампочкой (подсветкой); QE – первичный преобразователь (датчик - E) содержания солей (Q) в котловой воде пропорционально электропроводности; 3, 4 – QY<sup>E/E</sup> - преобразователь сигнала (Y) содержания солей (Q) по электропроводности в электрический сигнал (E-E на входе и выходе).

### Литература

1. Каталог продукции «Метран».
2. Ключев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Паспорт микропроцессорного регулятора «ОВЕН ПЛК 150».
4. Плетнев, П.Г. Автоматизированное технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

УДК 621.039

## ЭРОЗИЯ И КОРРОЗИЯ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ

Окрут В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

Детали турбин, находящиеся в постоянном контакте с рабочей средой, подвергаются непосредственному воздействию со стороны движущегося потока. Результат этого взаимодействия проявляется в виде эрозии.

Различают следующие виды эрозии:

- абразивная эрозия,
- электроэрозия:
  - электроискровой износ,
  - электроимпульсный износ,
  - электроконтактная эрозия,
  - электроэрозионное-электрохимическое разрушение;
- влажнопаровая эрозия.

Следует особо подчеркнуть, что в реальных условиях все названные виды эрозии взаимосвязаны друг с другом и действуют одновременно. В зависимости от состояния поверхности металла и параметров пара (влажность, скорость, температура) отдельные участки проточной части турбины могут быть подвержены в большей степени конкретному виду эрозии.

Абразивная эрозия – износ (истирание) поверхности металла твердыми частицами, содержащимися в рабочем теле (газ, пар). Наиболее ярко выражен для газовых турбин – износ поверхности твердыми частицами продуктов сгорания.

Основным условием электроэрозионного повреждения является наличие источников тока, протекающих по ротору турбины.

Особенно большое значение имеет изучение условий возникновения эффекта самовозбуждения, т.е. резкого возрастания токов и напряжений на роторе турбоагрегата.

Элементы паровых турбин, работающих во влажном паре, подвергаются непрерывному воздействию капель или струй жидкости, вследствие чего возникает влажнопаровая эрозия.

В условиях работы паровых турбин во влажном паре можно выделить основные виды эрозии:

1. Ударная;
2. Кавитационная;
3. Щелевая (размыв).

Ударной эрозией называется износ рабочих лопаток вследствие непрерывного каплеударного контакта жидкой фазы парового потока с поверхностью рабочих лопаток.

Ударная эрозия рабочих лопаток особенно последних ступеней турбины, наиболее опасна, так как она существенно снижает их экономичность и надежность.

Кавитация - процесс образования, деления и схлопывания каверн (полостей) в жидкости вследствие динамического изменения давления и температуры.

Кавитационные явления при течении воды и жидких плёнок в паровых турбинах наиболее характерны при течении в зазорах и элементах запорно-регулирующей арматуры.

Эрозионно-коррозионный износ при щелевой эрозии характерен для стыков неподвижных деталей вследствие образования щели (зазора) из-за недостаточной плотности разъёма.

Повреждение поверхностей, образующих разъём, объясняется не чисто механическим воздействием влаги, а вследствие совместного действия эрозионного и коррозионного процессов. Эрозионно-коррозионный износ (ЭКИ) возникает и развивается при наличии:

- зазора (щели);



- разности давлений по обе стороны щели;
- движущейся (как правило, коррозионно-агрессивной) среды – влажного пара или жидкости.

Зазоры между деталями турбины могут быть конструкционными или же возникнуть:

- из-за дефектов сборки и монтажа соединений;
- из-за разуплотнения разъемов вследствие термических или механических напряжений в элементах соединения;
- из-за коррозионного разрушения разъемов.

Механизм ЭКИ в первую очередь определяется совместным действием физических и химических факторов взаимодействия жидкой пленки с поверхностями стыка деталей, образующих щель.

ЭКИ – это кавитационная эрозия, протекающая совместно с коррозией (химической или чаще электрохимической).

ЭКИ металла существенно снижает надёжность, экономичность и долговечность элементов турбоустановок насыщенного пара, при этом происходит:

- снижение КПД турбины;
- снижение эффективности и надёжности работы выносных сепараторов – пароперегревателей;
- недовыработка электроэнергии вследствие аварий и вынужденных остановов турбоустановок из-за износа металла элементов турбин, трубопроводов, арматуры и другого оборудования;
- снижение эффективности и надёжности работы теплообменных аппаратов (в частности, из-за вынужденного заглушения трубок ПВД, ПНД и конденсаторов);
- ухудшение качества водно-химического режима вследствие выноса продуктов эрозии и коррозии в рабочий тракт питательной воды.

Эрозионно-коррозионный износ приводит к появлению на поверхности проточной части шероховатости. Это вызывает дополнительные потери энергии из-за трения и, в конечном счете, снижение КПД. Ущерб от ЭКИ на Кольской АЭС приведен в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Ущерб от ЭКИ на примере первого блока Кольской АЭС

Показатель	Год			
	1986	1987	1988	Сумма
Время восстановления, час.	754	755	1416.4	2925.4
Недовыработка эл/эн., МВт-ч.	23945	5940	63030	92920
Стоимость восстановления, тыс.руб.	4.8	0.15	7.13	11.93
Стоимость недовыработки, тыс.руб.	239.45	59.40	636.9	935.75
Трудоемкость восстановления, чел.-час.	1297	30	1803.6	3130.6
Коэффициент готовности	0.920	0.920	0.86	-

Таблица 2 – Ущерб от ЭКИ на примере второго блока Кольской АЭС

Показатель	Год			
	1986	1987	1988	Сумма
Время восстановления, час.	8	738	1479	2218
Недовыработка эл/эн., МВт-ч.	-	8010	4000	12010
Стоимость восстановления, тыс.руб.	0.15	2.9	14.74	17.89
Стоимость недовыработки, тыс.руб.	-	85.9	40	125.9
Трудоемкость восстановления, чел.-час.	32	968	3450	4450
Коэффициент готовности	-	0.922	0.856	-

На настоящее время наиболее радикальными методами снижения отрицательного воздействия щелевой эрозии на элементы турбоустановок насыщенного пара являются:

- повышение плотности стыков;

- применение высокохромистых сталей;
- применение эрозионно-стойких наплавов на отдельных участках крупных деталей турбины. После механической обработки высота наплавленного слоя должна быть не менее 10 мм;
- строгое соблюдение водно-химического режима.

Таблица 3 – Нормы качества рабочей среды II-го контура при эксплуатации в стационарном режиме на любом уровне мощности

N	Наименование величины	Качество основного конденсата	Качество питательной воды после ПВД	Качество насыщенного пара
1	Величина pH	-	9.0+0.2	
2	Удельная электропроводность H <sup>+</sup> катионированной пробы, мкСм/см	не более 0.5	не более 0.3	не более 0.3
3	Содержание натрия, мкг/кг	-	-	
4	Содержание хлор-ионов, мкг/кг	-	-	
5	Содержание соединений Fe, мкг/кг	-	не более 15	
6	Содержание соединений Си, мкг/кг	-	не более 5	
7	Содержание кислорода, мкг/кг	-	не более 10	
8	Содержание нефтепродуктов, мкг/кг	-	не более 100	

Методы защиты элементов проточных частей паровых турбин от влажнопаровой эрозии условно разделяют на:

- активные;
- пассивные.

Активные и пассивные методы уменьшения эрозионного износа приведены на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 – Активные методы уменьшения эрозионного износа



Рисунок 2 – Пассивные методы уменьшения эрозионного износа

#### Литература

1. Маликов Д.Е., Беляков А.В. Полнопрофильный ремонт лопаток паровых турбин.
2. Перельман Р.Г., Пряхин В.В. Эрозия элементов паровых турбин.
3. Шубенко А.Л., Ковальский А.Э. Каплеударная эрозия лопаточных аппаратов паровых турбин. Прогнозирование и методы защиты.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229

УДК 620.93:681.515

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

Парахневич И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Романко В.А.

Достоверность химического анализа определяется, прежде всего, представительностью пробы анализируемой среды. При оперативном химическом контроле теплоносителя энергоблока пробы отбираются на различных участках пароводяного тракта. Параметры (температура, давление) и агрегатное состояние теплоносителя по тракту энергоблока весьма различны, поэтому для обеспечения возможности сопоставления результатов анализа пробы теплоносителя, взятые по тракту энергоблока, приводятся к унифицированным физическому состоянию и параметрам. При автоматическом контроле производится анализ охлажденной пробы при температуре 30–40 °С и давлении 0,12–0,14 МПа. Для охлаждения проб на линиях отбора устанавливаются холодильники змеевикового типа или прямотрубные, для снижения давления – дроссельные устройства. При этом в пробоотборных устройствах для пара во избежание нарушения представительности пробы паровые холодильники устанавливаются перед дроссельными устройствами.

Функциональная схема и состав УПП представлены на рисунке 1.

Все узлы за исключением первичных теплообменников первой и второй ступени размещены в стальном каркасе. Анализируемая среда после снижения температуры в первичных теплообменниках (высокотемпературная и среднетемпературная ступени) через запирающий клапан ЗК поступает в теплообменник АТ прибора регулирования защиты и сигнализации РЗС, где температура пробы снижается до 30 – 40 °С, затем в блок дросселей БД с фильтром и регулируемый дроссель РД, где давление анализируемой среды последовательно снижается до значения не более 0,2 МПа. Поддержание давления и температуры в блоке регулирования осуществляется регуляторами температуры и давления прямого действия. Регулирующий клапан регулятора температуры установлен в магистрали подачи охлаждающей воды на АТ. Чувствительным элементом регулятора температуры – твердый датчик типа ТД, чувствительным элементом регулятора давления служит сильфон, связанный со штоком регулирующего клапана, перепускающего анализируемую среду на сброс в сливную магистраль при отклонении давления в блоке регулирования от заданного значения.

Расход пробы на анализаторы устанавливается с помощью регулируемых дросселей РД. При этом индивидуальное отключение подачи пробы на любой из анализаторов осуществляется вручную с помощью соответствующего запирающего клапана ЗК. Постоянство расхода на конкретный анализатор обеспечивается за счет поддержания давления в блоке регулирования БР при неизменном положении соответствующего РД. Суммарный расход пробы определяется встроенным объемным расходомером Р. Регуляторы температуры УРГ и давления УРД формируют сигналы "Норма" и "Предел", поступающие на блок защиты и сигнализации БЗС и в программно-технический комплекс автоматизированной системы контроля и диагностики состояния водно-химического режима ТЭС (АСХКД ВХР ТЭС). По предельным значениям параметров БЗС обеспечивается защита УПП и анализаторов при отключении с помощью электромагнитного клапана ЭМК подачи анализируемой среды на БР и к анализаторам.

При скачкообразном снижении расхода пробы, например, при засорении дросселей или отключении группы анализаторов, возможно ее переохлаждение на 3–4 °С от 30 °С на время 30–40 с до входа в зону статических режимов.

При скачкообразном увеличении расхода пробы, например, несанкционированном закрытии регулирующего клапана регулятора давления или открытии электромагнитного

клапана в процессе повторного пуска после устранения аварийной ситуации, возможно превышение предельной температуры 42 °С до 45 °С на время 30–40 с.

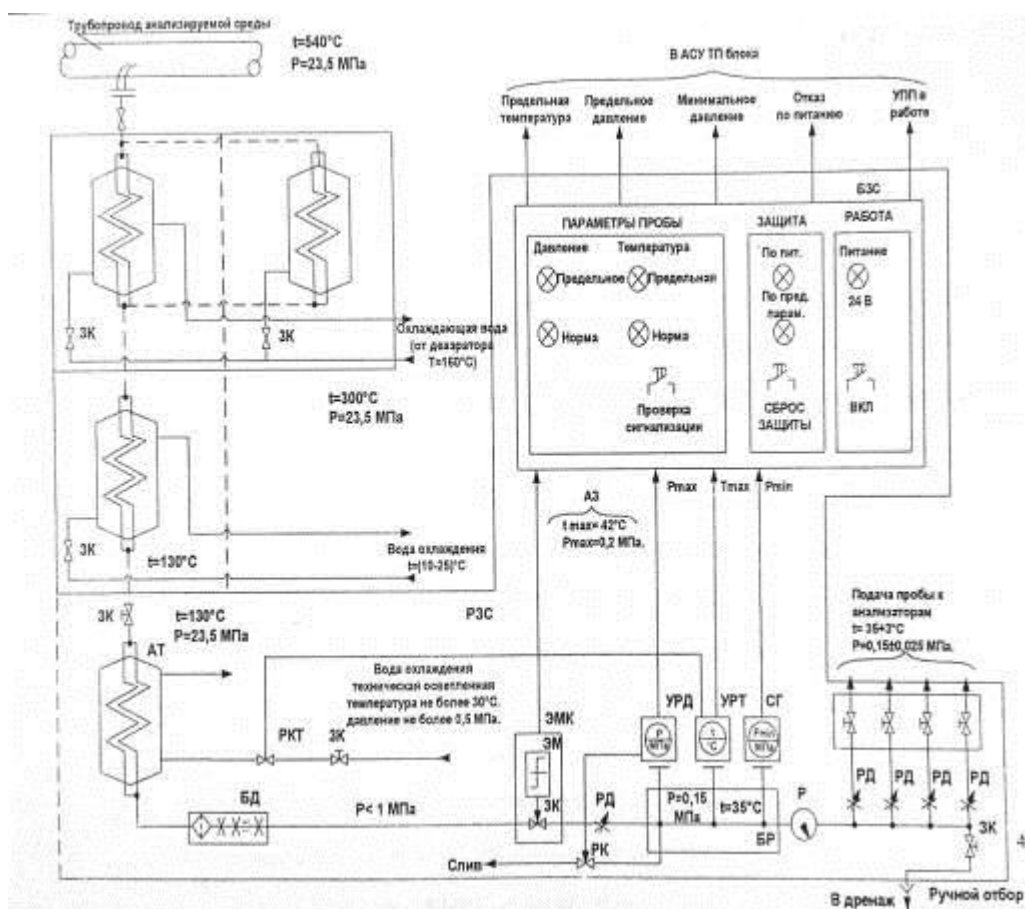


Рисунок 1 – Функциональная схема и состав УПП

При использовании УПП в проектах систем водно-химического мониторинга ТЭС обязательно следует предусматривать следующее:

- для исключения ложного срабатывания защиты (например, при повторном пуске) требуется введение специального алгоритма, связанного с установлением временной задержки или с уменьшением подачи пробы;
- введение неотключаемой подачи охлаждающей технической воды, так как развитие аварийной ситуации из-за прекращения и нарушения охлаждения может привести к выходу из строя УПП.

Опыт эксплуатации нового автоматизированного устройства подготовки проб в промышленных условиях показал, что при соблюдении перечисленных требований и условий все узлы УПП действуют безотказно.

Как видно из структурной схемы, основным средством переработки информации может быть ЭВМ, на которую поступают измеряемые сигналы всех параметров химического контроля. При этом предусматривается опрос значений всех параметров химконтроля каждые 5 мин, усреднение значений опрошенных параметров каждые час, смену, сутки. При нормальном состоянии параметров распечатка производится один раз в смену (8, 16, 24 ч) среднесменных значений и в 24 ч еще среднесуточных значений.

При отклонении какого-либо параметра химконтроля производится автоматическая печать отклонившегося параметра с указанием часа, дня, наименования параметра, номера точки, номинального значения параметра, значения отклонения, а дальше печатаются текущие значения всех параметров химконтроля (за последние опрос или час). При восстановлении отклонившегося параметра до нормы производится печать: «час», «день», «параметр», «№ точки», «в норме».

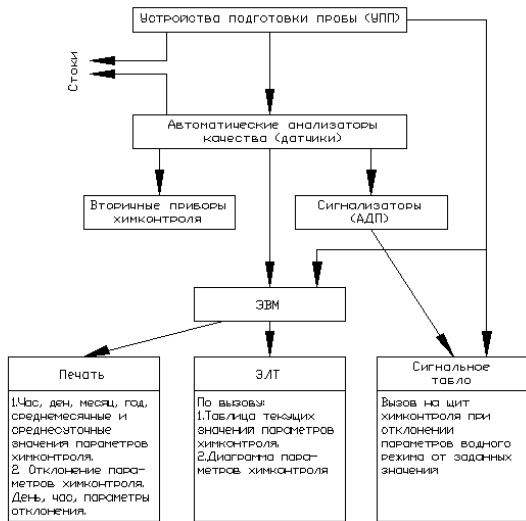


Рисунок 2 – Структурная схема системы автоматического химического контроля

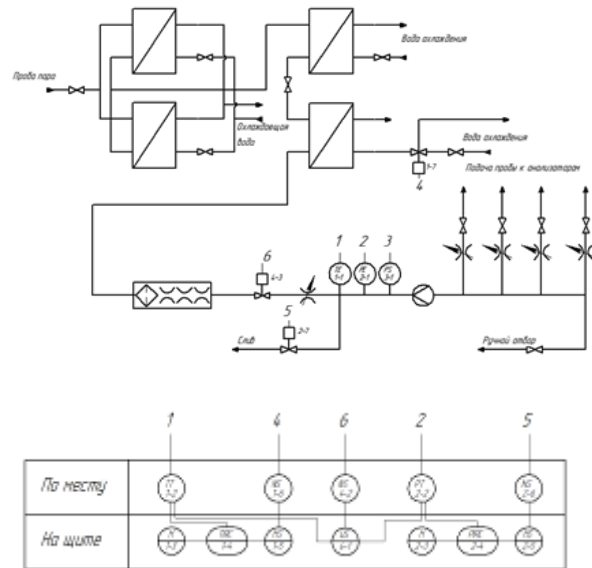


Рисунок 3 – Функциональная схема системы регулирования

Основной задачей при автоматизации устройства подготовки пробы перегретого пара является поддержание необходимых параметров анализируемой среды. Качество теплоносителя влияет на надежность и экономичность работы основного оборудования ТЭЦ. Поэтому была разработана система автоматического регулирования температуры и давления отобранной для анализа пробы пара.

Также было проведено математическое моделирование разработанной системы управления.

Динамика объекта регулирования по температуре и давлению заданы в виде передаточной функции инерционного звена первого порядка:

$$W_T(p) = \frac{0.444}{60p + 1}, \quad W_D(p) = \frac{8.888}{0.12p + 1} \quad (1)$$

Параметры оптимальной динамической настройки регулятора по температуре и давлению будем находить через передаточную функцию оптимального регулятора:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{1}{W_{об}(p)} \cdot \frac{W_{зд}(p)}{1 - W_{зд}(p)}, \quad (2)$$

где 
$$W_{зд}(p) = \frac{1}{T_{зд}p + 1} \quad (3)$$

$T_{зд}$  примем по правилу золотого сечения как  $0,146T_{об}$ :

$$T_{зд}^T = 0,146 \cdot 60 = 8,76c \quad (4)$$

$$T_{зд}^D = 0,146 \cdot 0,12 = 0,02c \quad (5)$$

Таким образом получим следующие передаточные функции ПИ-регуляторов:

$$W_P^T(p) = \frac{2.25 \cdot (60p + 1)}{8.76p} \quad (6)$$

$$W_P^D(p) = \frac{0.125 \cdot (0.12p + 1)}{0.02p} \quad (7)$$

Структурные схемы моделирования одноконтурных САР представлены на рисунке 4, а графики переходных процессов – на рисунках 5–8.

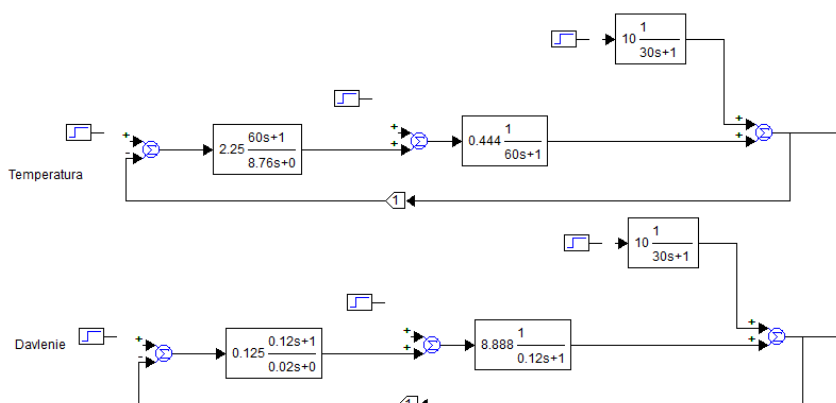


Рисунок 4 – Структурные схемы моделирования одноконтурных САР.

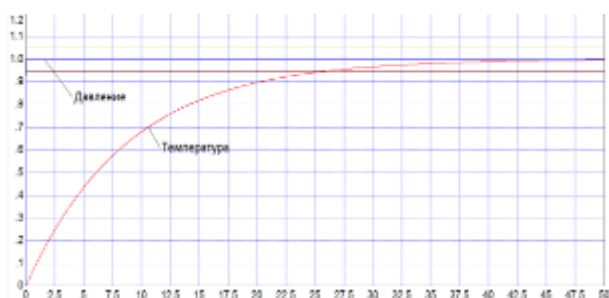


Рисунок 5 – График переходного процесса при обработке скачка задания



Рисунок 6 – График переходного процесса при обработке  $f_1$  (температура)

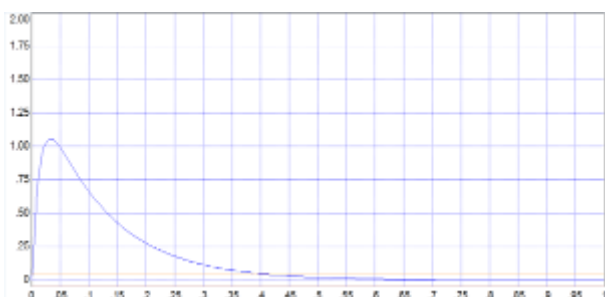


Рисунок 7 – График переходного процесса при обработке  $f_1$  (давление)

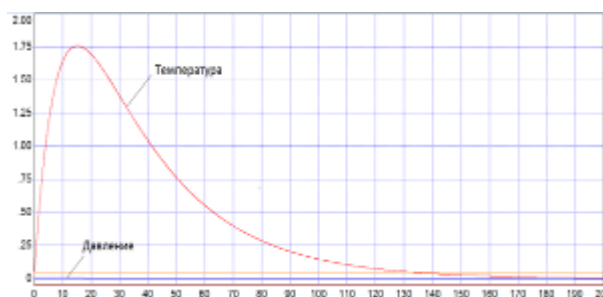


Рисунок 8 – График переходного процесса при обработке крайнего внешнего возмущения

**Выводы**

В результате работы разработана АСР устройства подготовки пробы перегретого пара для подачи в датчики автоматических анализаторов качества теплоносителя ТЭС. Определен объект проектирования и автоматизации, задачи проекта и основания для проектирования. На основании структурной схемы спроектирована функциональная схема регулирования, а также проведено математическое моделирование. Проектируемая система показала устойчивую работу и качественную обработку регулирующих воздействий.

**Литература**

1. Живилова, Л.М. Автоматизация водоподготовительных установок и управления воднохимическим режимом. – Энергоиздат, 1986.
2. Живилова, Л.М. Автоматический контроль воднохимическим режимом тепловых электрических станций. – М.: Энергия, 1979.

3. Ключев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Плетнев, П.Г. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 2007.



УДК 621.18-5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ВПРЫСКОВ С ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ «ДАТЧИКА ТИПА ЛЮФТ»

Парахневич И.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Схема представляет собой последовательное соединение 2 двухконтурных САР (в данном случае САР с дифференциатором – САР с Д). Выходная регулируемая величина 1-ой САР с Д воспринимается 2-ой САР с Д как внутреннее возмущение. Недостатком данной схемы является отсутствие увязки задания первого и второго впрысков, то есть при выходе регулируемой величины второго впрыска из диапазона регулирования отсутствует возможность скорректировать задание первому впрыску и тем самым ликвидировать отклонение регулируемой величины от допустимого значения.

На систему действуют: внутреннее возмущение первого и второго впрыска, внешнее возмущение первого и второго впрыска, скачок задания первого и второго впрыска. Внутренние возмущения не опасны, так как обрабатываются вторым регулятором очень хорошо. Внешнее возмущение первого впрыска воспринимается вторым впрыском как внутреннее и тоже обрабатывается достаточно хорошо. В качестве наиболее опасного возмущения принято внешнее возмущение второго впрыска, так как оно сразу проходит на выход системы и может привести к появлению статической ошибки регулирования, обусловленной выходом из расчётного диапазона регулирующего органа. Также следует учитывать в рассматриваемой схеме регулирующее воздействие первого впрыска как дополнительное внутреннее возмущение для второго впрыска, так как оно изменяет расход пара, проходящего через пароперегреватель, а значит и влияет на конечный результат качества регулирования.

Для получения необходимой схемы рассмотрим принцип «датчика типа люфт». В случае появления большого крайнего внешнего возмущения температура пара резко возрастает, а регулирующий клапан второго впрыска выходит на 100% открытия, что не приводит к установлению температуры пара в допустимых значениях, то есть регулятор второго впрыска вышел из диапазона регулирования. Чтобы снизить температуру перегретого пара до заданного значения, датчик положения включает «датчик типа люфт», который начинает корректировать задание регулятору первого впрыска в такую сторону и на такую величину, чтобы регулирующее воздействие первого впрыска сложилось с регулирующим воздействием второго впрыска и объединённым усилием снизило температуру перегретого пара до заданного значения. Исходная схема САР двух последовательно включенных впрысков с учётом влияния регулирующего воздействия первого впрыска на конечное качество регулирования представлена на рисунке 1. Сравнение будет производиться с типовой САР с Д, расчет настройки дифференциатора в которой выполнялся по МПК в ЧВ по передаточной функции инерционного участка объекта регулирования для оптимальной отработки крайнего внешнего возмущения, а расчет настройки ПИ регулятора выполнялся по МЧК по передаточной функции опережающего участка объекта регулирования, направленный на оптимальную отработку внутреннего возмущения.

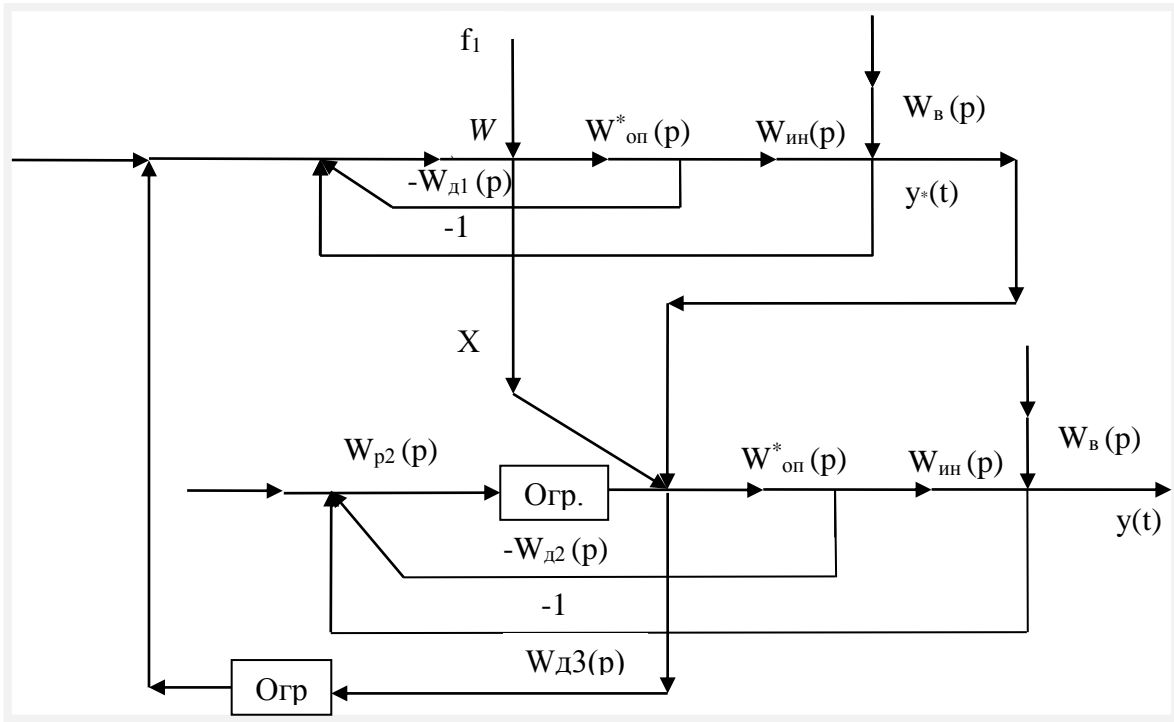


Рисунок 1 – Структурная схема САР двух последовательно включённых впрысков

$$\text{где: } K_{опр.1} = 1,618 \cdot x_{p2}^{ycm} \tag{1}$$

$$K_{опр.2} = \frac{\Delta x_{p2}^M}{K_{p1}} \tag{2}$$

$$K_{о3} = 1,618 \tag{3}$$

$$T_{о3} = \frac{t_p}{3} \tag{4}$$

Для начала моделируется схема рисунка 1 без ограничителя 1, ограничителя 2 и дифференциатора 3 при отработке внешнего возмущения.

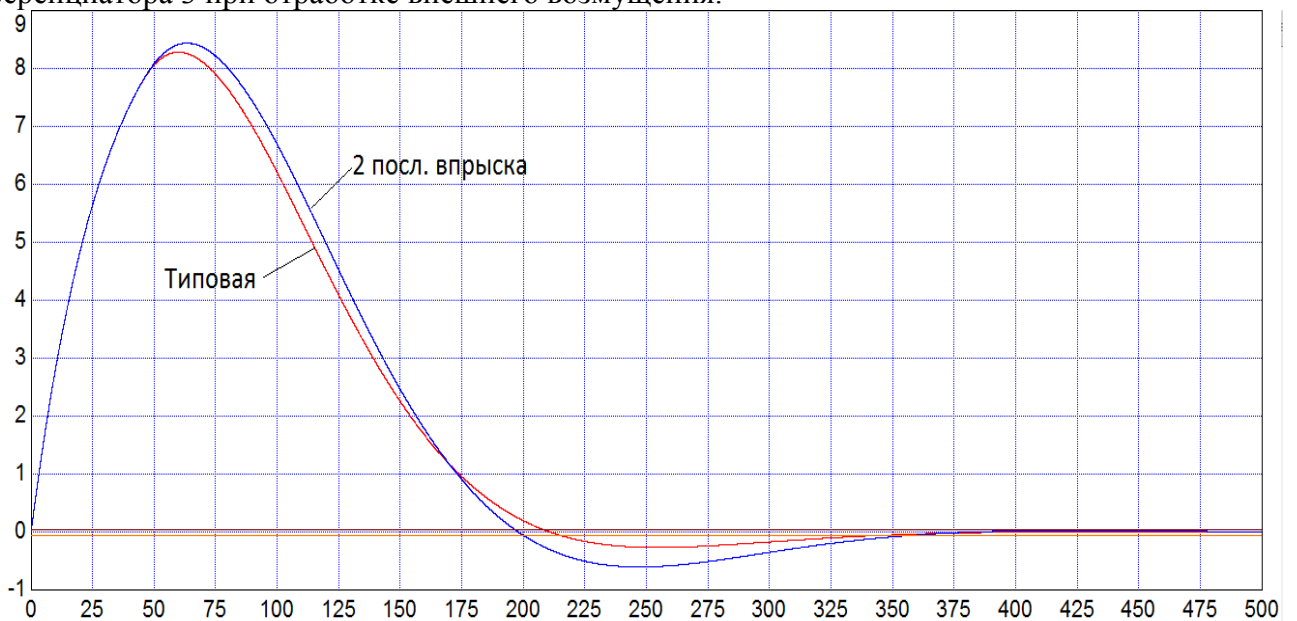


Рисунок 2 – График отработки внешнего возмущения конечным впрыском

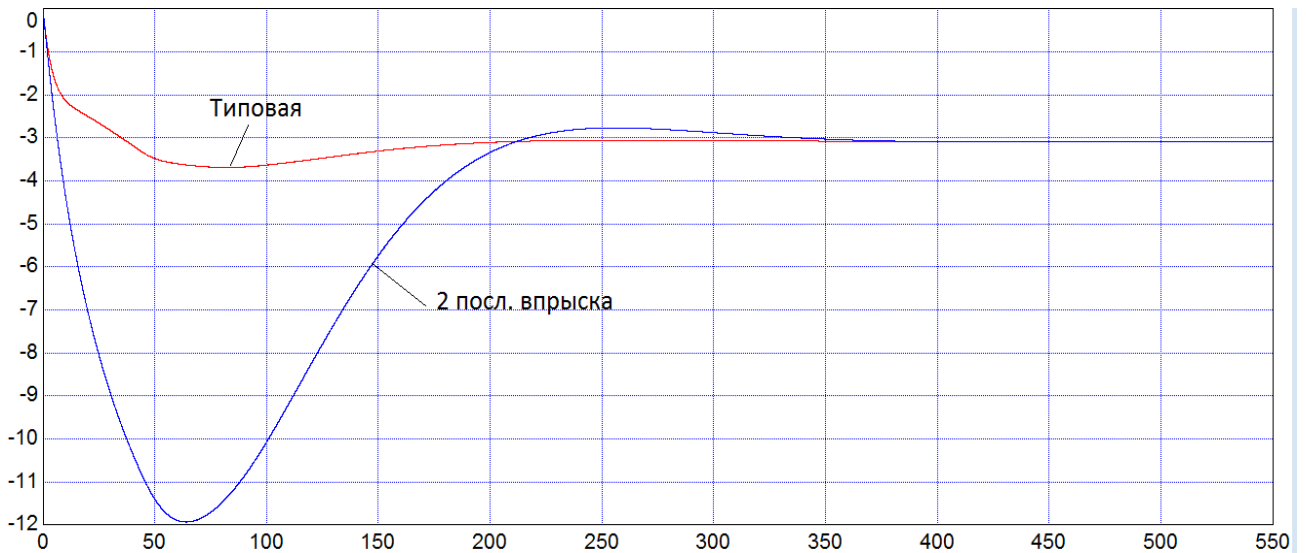


Рисунок 3 – График регулирующего воздействия конечного впрыска при отработке внешнего возмущения

Таблица 1 – Прямые показатели качества

Схема	f <sub>2</sub>		X <sub>p</sub> <sup>м</sup>	X <sub>p</sub> <sup>уст</sup>
	t <sub>p</sub> , с	A <sub>1</sub> <sup>+</sup>		
Типовая САР с Д	343,8	8,29	3,68	3,08
САР 2-х последовательно включенных впрысков	358	8,44	11,9	3,08

$$K_{огр.1} = 1,618 \cdot 3,08 = 4,98 \tag{5}$$

$$\Delta x_{p2}^m = x_{p2}^m - 1,618 \cdot x_{p2}^{уст} = 11,9 - 1,618 \cdot 3,08 = 6,92 \tag{6}$$

Далее моделируется полная схема рисунка 1, с введенным в нее ограничителем 1, который удерживает  $X_{p2}^m$  на величине, равной  $1,618 X_{p2}^{уст}$ . В результате чего, качество регулирования ухудшается, т.к. величина регулирующего воздействия конечного впрыска уменьшилась на величину  $\Delta x_{p2}^m = 6,92$ .

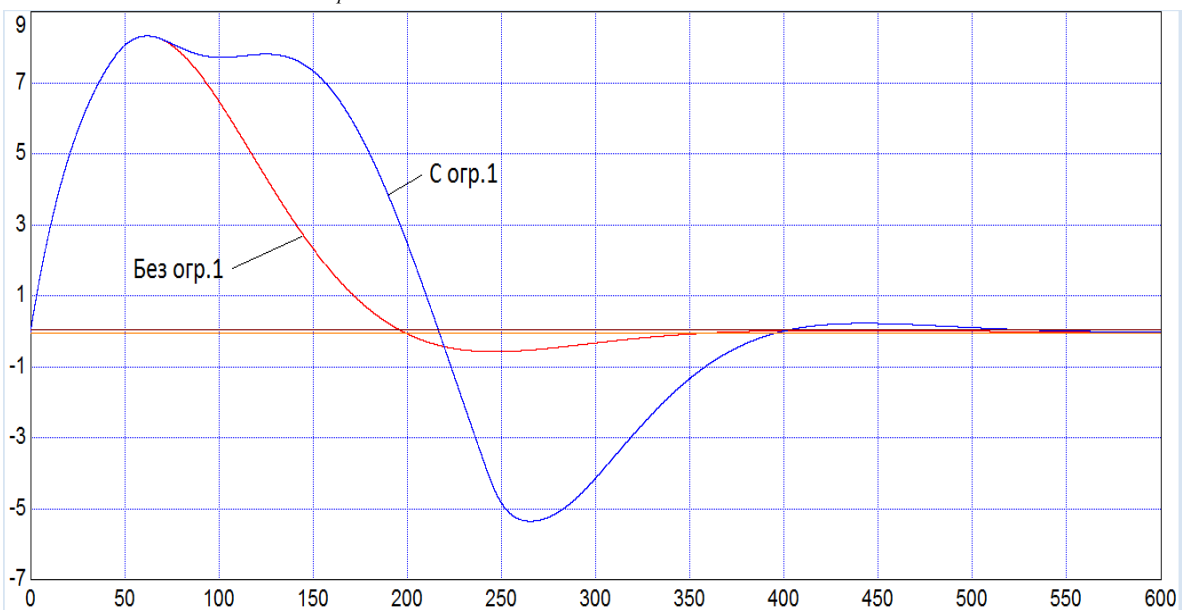


Рисунок 4 – График отработки внешнего возмущения конечным впрыском

Таблица 2 – Прямые показатели качества

Схема	f <sub>2</sub>	
	t <sub>p</sub> , с	A <sub>1</sub> <sup>+</sup>
САР 2-х последовательно включенных впрысков без ограничителя 1	358	8,44
САР 2-х последовательно включенных впрысков с ограничителем 1	529,7	8,44

Дальнейшая сущность моделирования состоит в том, чтобы при наличии ограничителя 1 вернуть качество регулирования конечного впрыска к исходному.

Для этого вводится дифференциатор 3 и ограничитель 2.

$$K_{огр.2} = 6,92 / 1,62 = 4,27 \tag{7}$$

$$K_{д3} = 1,618 \tag{8}$$

$$T_{д3} = 358 / 3 = 119,3 \text{ с} \tag{9}$$



Рисунок 5 – График отработки внешнего возмущения конечным впрыском

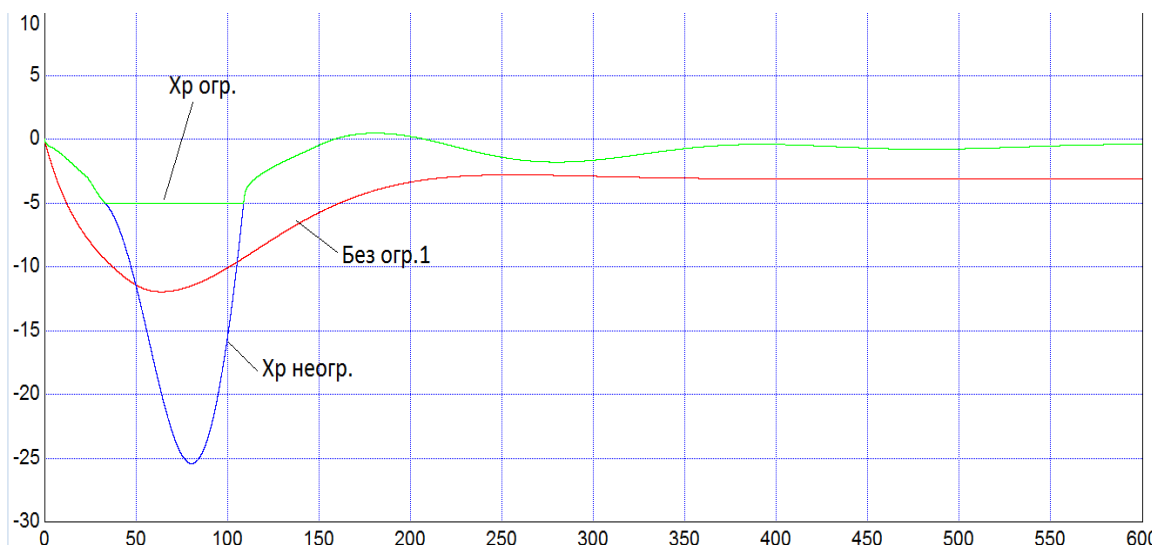


Рисунок 6 – График регулирующего воздействия конечного впрыска при отработке внешнего возмущения

Таблица 3 – Прямые показатели качества

Схема	$f_2$		$X_p^{\text{неогр.}}$	$X_p^{\text{огр.}}$
	$t_p, \text{с}$	$A_1^+$		
Исходная САР	358	8,44	11,9	-
Оптимизированная САР	374,5	8,25	25,4	4,98

### Выводы

В ходе исследования была смоделирована САР двух последовательно включенных впрысков с ПИ регулятором и дифференциатором. Введя в схему элемент ограничения регулирующего воздействия конечного впрыска на величине  $1,618X_p2^{ycm}$ , мы тем самым ухудшили качество регулирования. Однако после, введя в схему дифференциатор 3 и ограничитель 2, как показано на рисунке 1, хорошее качество регулирования было возвращено, при этом имея ограничения по максимальной величине регулирующего воздействия конечного впрыска.

### Литература

1. Кузьмицкий, И.В. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГТУ, 2010. – 574 с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования». – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
3. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

УДК 621.311.25

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХВО

Римашевская Е.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

В конце XX в. наибольшее распространение получила технология обессоливания воды на базе параллельно-точных ионитных фильтров (для вод с малой и средней минерализацией) и термическое обессоливание (для вод с высокой минерализацией или повышенной окисляемостью) [5]. Ужесточение экологических требований к водоподготовке, ухудшение качества обрабатываемых вод и высокие эксплуатационные затраты привели к созданию новых технологий обработки воды.

Анализ литературных источников [1-3,5] показывает, что предложения по совершенствованию технологии обессоливания воды на ТЭС можно разделить на следующие группы:

- оптимизацию действующих установок ионообменного химического обессоливания (ХОУ), направленную на сокращение расхода реагентов и стоков;
- разработку схем ХОУ на основе противоточных технологий (UPCORE, Schwebbett и др.);
- разработку схем обессоливания на основе мембранных методов обработки воды;
- создание малоотходных технологий на основе термического метода.

Реализация названных направлений совершенствования водоподготовки на ТЭС в начале XXI в. привела к созданию ряда новых технологических систем.

При работе по технологической схеме ХОУ, установки комбинированного обессоливания воды (КОУ) или термического обессоливания воды (ТОУ) образуются сточные воды, которые после согласования условий их приёма обычно отводятся в окружающую среду. Результаты технико-экономических расчётов показывают, что при небольшой минерализации природных вод, наиболее экономичным является метод ионообменного химического обессоливания. Другие технологии имеют преимущество при более высокой минерализации используемой воды. [2, 5]

При повышенной минерализации или окисляемости природных вод рекомендуется термическое обессоливание. Опытные данные подтверждают, что дистилляция позволяет достаточно глубоко очищать воду от органических нелетучих примесей. Однако вследствие неустойчивости работы многоступенчатых испарительных установок (МИУ) в отдельных случаях наблюдается повышенный вынос органических примесей во вторичный пар и далее в дистиллят МИУ.

В ряде случаев (Саранская ТЭЦ-2 АО "Мордовэнерго", ОАО "Ивановские ПГУ", Казанская ТЭЦ-3) [5] был проведен комплекс работ по сокращению как водоподведения, так и водоотведения. По результатам исследований водно-химического режима (ВХР) на данных электростанциях были реализованы малоотходные технологические схемы, реализация которых позволила утилизировать основную часть сточных вод.

Таким образом, накопленный опыт освоения различных технологий обработки воды позволил раз работать три варианта малоотходных комплексов водопользования, реализация которых на ТЭС позволит значительно сократить использование природной воды и сброс сточных вод и снизить за счёт этого негативное воздействие ТЭС на гидросферу.

### Исследование программного проектирования ВПУ ТЭС

В качестве проектируемой электростанции выступает ТЭЦ, на которой установлено следующее основное оборудование:

- 2 прямоточных котла ТГМП-314 (ПП-1000-240) номинальной паропроизводительностью 1000 т пара/ч каждый, с давлением перегретого пара на выходе 24 МПа, работающие с 2-мя турбинами Т-250/300-240, выполненными на сверхкритические

параметры пара; каждая турбина имеет номинальную мощность 250 МВт при начальных параметрах пара 24 МПа и 540 °С;

- барабанный котел Е-500-13,8 номинальной паропроизводительностью 500 т пара/ч, с давлением перегретого пара на выходе 13,8 МПа, температурой перегретого пара – 560 °С, работающий с турбиной ПТ-80/100-12,8/1,3 номинальной мощностью 80 МВт при начальных параметрах пара 12,8 МПа и 555 °С.

В качестве основного вида топлива проектируемой ТЭС выступает природный газ; резервным топливом является мазут.

Для конденсации отработавшего в турбине пара, охлаждения масла и газа турбин, электрогенераторов, подшипников, вспомогательных механизмов (дымососов, вентиляторов, питательных насосов) используется оборотная система охлаждения с градирнями.

В качестве источника водоснабжения проектируемой ТЭС выступает водоем со следующими показателями качества воды (табл. 1):

Таблица 1 – Показатели качества исходной воды

Показатель	Мг/кг	экв	Мг-экв/кг
Ca <sup>2+</sup>	35,07	20,04	1,75
Mg <sup>2+</sup>	9,11	12,15	0,75
Na <sup>+</sup>	4,4	22,99	0,19
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	115,9	61,00	1,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	23,1	48,03	0,48
Cl <sup>-</sup>	5,8	35,45	0,16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-
SiO <sub>2</sub> /SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	8,7	38,04	0,23

Целью данной работы стало проведение сравнительного анализа ионообменной и обратноосмотической технологии подготовки воды при проектировании водоподготовительных установок (ВПУ).

В качестве расчетной системы принята ВПУ с расходом воды 143,8 м<sup>3</sup>/ч. Подпитка теплосетей составляет 330 м<sup>3</sup>/ч.

При проектировании ВПУ, основанной на противоточной технологии ионного обмена, было принято 3 цепочки (2 в работе, 1 в резерве) трехступенчатой подготовки обессоленной воды производительностью 71,9 м<sup>3</sup>/ч каждая. Ионообменные фильтры данной ВПУ загружены смолами MARATHON MSA, MAC-3 PS, MARATHON C, MARATHON A, MARATHON WBA производства компании Dow Chemical.

Эскиз данной схемы ВПУ ТЭС представлен на рисунке 1.

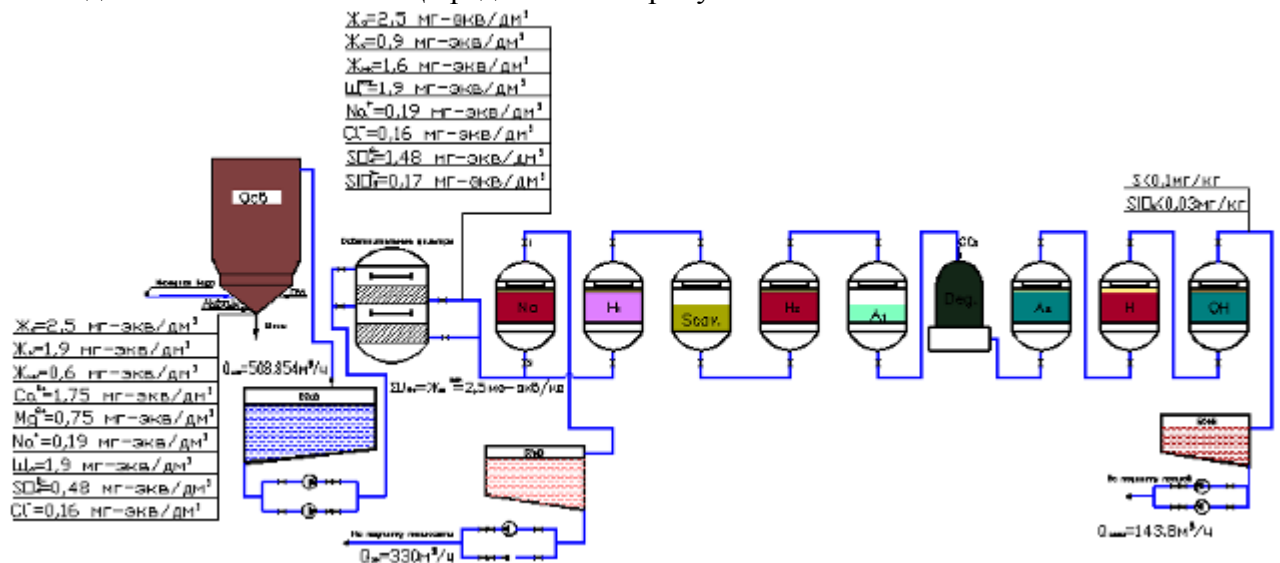


Рисунок 1 – Эскиз схемы ВПУ ТЭС 580 МВт

Для расчета и проектирования схемы ВПУ и подпитки тепловых сетей используем компьютерную программу проектирования систем ионного обмена CADIX, разработанную компанией Dow Chemical.

При проектировании малоотходной ВПУ, основанной на мембранных технологиях подготовки воды по методу обратного осмоса, за основу была взята технологическая схема малоотходной ВПУ, реализованная на Саранской ТЭЦ-2 [5]. Эскиз схемы малоотходной ВПУ ТЭЦ представлен на рисунке 2.

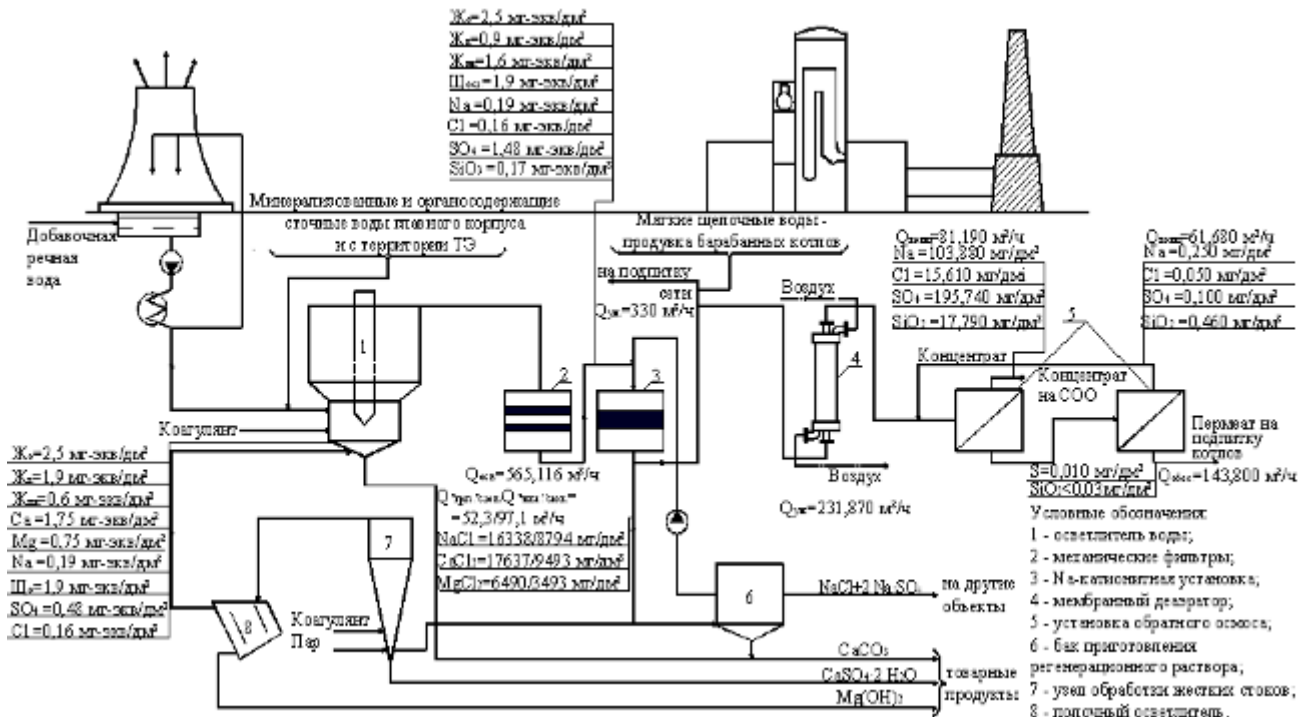


Рисунок 2 – Эскиз схемы малоотходной ВПУ ТЭЦ 580 МВт

Продувочная вода системы оборотного охлаждения (СОО), а также маломинерализованные и органосодержащие сточные воды главного корпуса и с территории ТЭЦ подаются на предочистку, состоящую из осветлителей ВТИ-160 для коагуляции и механических фильтров. Далее осветлённая вода проходит стадию одноступенчатого ионирования на Na-катионитных фильтрах. Затем часть умягчённой воды отбирается для подпитки тепловой сети, а оставшаяся вода поступает в мембранный деаэратор. В деаэратор также подаются продувочные воды барабанных котлов. Деаэрированная вода подается в двухступенчатую установку обратного осмоса (УОО) с рециклом концентрата второй ступени для подмеса к питательной воде первой ступени. В качестве финишного этапа обессоливания используется ступень Н-ОН-ионирования.

Часть концентрированного отработанного регенерационного раствора Na-фильтров, стабилизированная по сульфату кальция, используются для приготовления регенерационного раствора для этих фильтров. Остальное количество отработанного регенерационного раствора с повышенной минерализацией после коагуляции в узле 7 через полочный осветлитель 8 подаётся в осветлитель 1.

При проектировании малоотходной ВПУ, основанной на мембранных технологиях подготовки воды по методу обратного осмоса, было принято к установке 4 Na-фильтра (3 в работе, 1 в резерве), производительностью 188,372 м<sup>3</sup>/ч каждый (Na-фильтры загружены катионообменной смолой MARATHON C производства компании Dow Chemical); двухступенчатая однокаскадная УОО, производительность 2-й ступени которой по пермеату составила 143,8 м<sup>3</sup>. Гидравлический КПД обеих ступеней УОО равен 70%. В качестве



мембранных элементов для УОО используются рулонные обратноосмотические мембранные элементы RO-390-FF, производимые компанией Dow Chemical. Количество фильтродержателей в каждом каскаде первой ступени УОО равно 18, второй ступени УОО – 11. Для повышения качества обессоленной воды в каждом фильтродержателе УОО последовательно установлено 4 мембранных элемента.

Для расчета и проектирования схемы умягчения и подпитки тепловых сетей используем компьютерную программу проектирования систем ионного обмена CADIX; для расчета и проектирования УОО используем компьютерную программу проектирования систем обратного осмоса и нанофильтрации ROSA.

Результаты расчетов показали, что солесодержание пермеата 2-й ступени УОО составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Это позволило убрать из схемы ВПУ Н-ОН фильтры окончательного обессоливания воды и сократить объем сточных вод.

Результаты сравнения исследованных ВПУ показывают значительное сокращение расходов химических реагентов, а также качественное и количественное (снижение объема “грязных” стоков приблизительно в 3 раза и “чистых” стоков практически в 1,5 раза) изменение состава сточных вод при использовании УОО вместо ВПУ, основанной на технологиях ионного обмена.

Результаты исследований могут быть применены при проектировании новых малосточных ВПУ ТЭС, что позволит значительно сократить использование природной воды и реагентов, а также объем сточных вод и концентрацию ионов в сточных водах и снизить за счет этого негативное воздействие ТЭС на гидросферу.

#### Литература

1. Боровкова И.И., Балаев И.С., Громов С.Л., Сидоров В.А., Шуляев В.А. – Внедрение противоточной технологии UPCORE фирмы «Дау Кэмикал» (США) на ВПУ по обессоливаю ТЭЦ-12 МОСЭНЕРГО – «Электрические станции», 2000, № 5, - с. 29-31
2. Выбор метода водоподготовки на ТЭС различных типов/ Седлов А.С., Потапкина Е.Н., Рыков А.П. и др.// Вестник МЭИ, 2004, №4
3. Громов С.Л. - Технологические преимущества процесса противоточной регенерации ионообменных смол UPCORE: промывка взрыхлением – «Теплоэнергетика», 1998, № 3 - с. 52-55
4. Копылов А.С., Очков В.Ф., Чудова Ю.В. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программные расчеты: учебное пособие для ВУЗов/ Копылов А.С. и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 222 с.
5. Седлов А.С., Шищенко В.В., Ларин Б.М., Ларин А.Б., Потапкина Е.Н., Хазиахметова Ф.Р. Опыт совершенствования технологий обессоливания воды на ТЭС - «Электрические станции», 2010, № 10 - с. 13-21.

УДК 662.613.5

## ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ГОРЕНИИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Соловей Д.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

Образование оксидов азота при горении подготовленных смесей топлива с воздухом представляет интерес с тех соображений, что только при горении смеси известного можно проследить некоторые основные закономерности процесса.

Экспериментальное исследование с целью изучения закономерностей изменения концентрации оксида при изменении в широких пределах режимных факторов было проведено на стенде, оборудованном туннельной горелкой с принудительной подачей воздуха от вентилятора. В смесителе горелки обеспечивалось обычное для промышленных устройств качество смешения газа с воздухом. Туннельная горелка была выбрана в связи со сравнительно хорошей изученностью полей концентраций и температур и достаточной стабилизацией факела при изменении состава смеси и нагрузки в широких пределах.

Исследованы режимы в диапазонах изменения тепловых нагрузок  $q$  топочного объема, равных 10 – 60 МВт/м<sup>3</sup> с интервалом  $\Delta q = 1,16$  МВт/м<sup>3</sup>, и коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  от 1 до 1,6.

Анализ условий образования оксида азота при горении предварительно подготовленных гомогенных смесей позволил сделать следующие **выводы**.

1. Изменение коэффициента избытка воздуха от 1,2 до 1,05 снижает концентрацию оксида азота на 35 – 48 %.

2. Величина выхода оксидов азота зависит от подготовки топливовоздушной смеси, турбулентности и охлаждения пламени; в турбулентных диффузионных пламенах выход оксида азота меньше зависит от коэффициента расхода воздуха, чем в ламинарных или близких к ним.

3. Турбулентность и теплоотдача из зоны горения оказывают сильное влияние на выход оксидов азота; во всех случаях с увеличением турбулентности и размера горелки выход оксида азота увеличивается.

### Литература

1. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.

УДК 620.93:681.515

## ПРИМЕНЕНИЕ НОВЕЙШИХ ТИПОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ АСР ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

Шмань Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

Котел как объект проектирования и управления представляет собой сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами.

Основными регулируемыми величинами котла является расход перегретого пара  $D_{пп}$ , его давление  $p_{пп}$ , температура  $t_{пп}$ . Расход пара является переменной величиной, а его давление и температура поддерживается в пределах допустимых отклонений, что обуславливается требованиями заданного режима работы турбины или иного потребителя тепловой энергии.

Объектом разработки является АСР питания котлоагрегата БКЗ-420-140ГНМ. Котел предназначен для работы на природном газе и мазуте с теплофикационными турбинами.

Автоматическая система регулирования питания предназначена для поддержания материального соответствия между расходами питательной воды в котел и нагрузке котла по пару. Показателем этого соответствия служит уровень воды в барабане котлоагрегата.

Автоматическая система регулирования должна обеспечить постоянство среднего уровня независимо от нагрузки котла и других возмущающих воздействий. В переходных режимах изменение уровня может происходить довольно быстро, поэтому регулятор питания для обеспечения малых отклонений уровня должен поддерживать постоянство соотношения расходов питательной воды и пара. Эту задачу выполняет трехимпульсный регулятор.

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим структуру узлов контроля и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

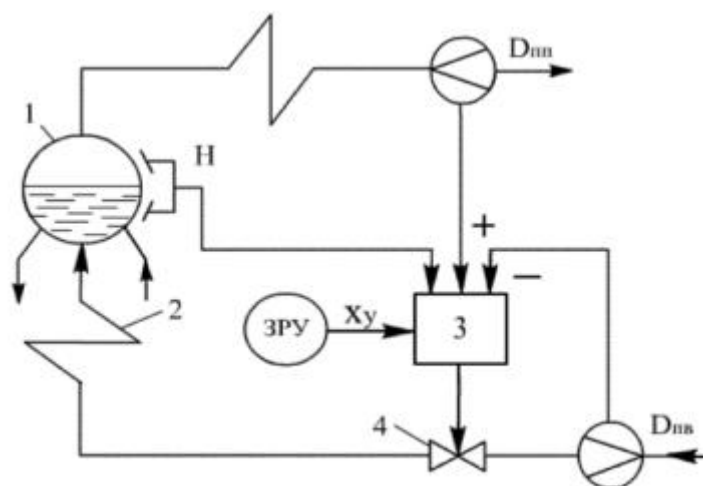


Рисунок 1 – Структурная схема трехимпульсного АСР питания барабанного котла

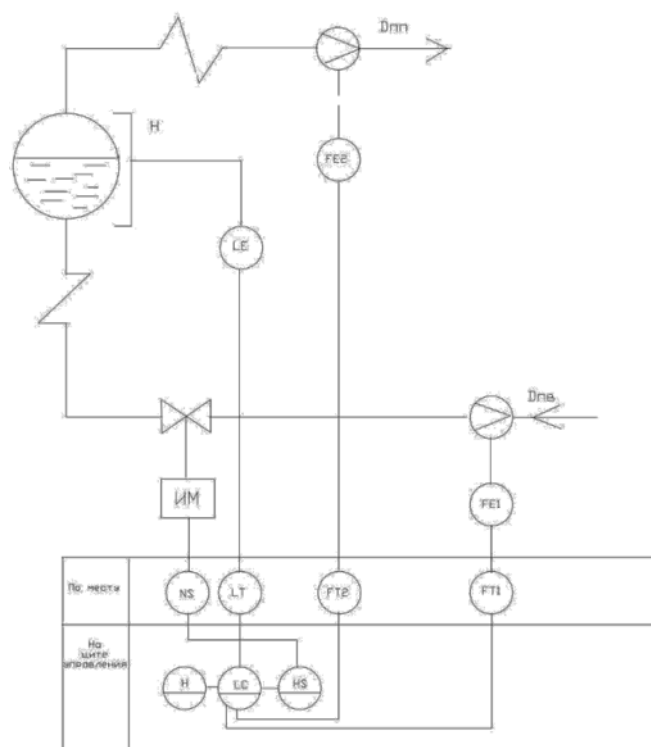


Рисунок 2 – Функциональная схема питания барабанного котла

Техническая реализация системы автоматического регулирования возможна с использованием различных типов микропроцессорных регуляторов. Ранее данные системы реализовывались в основном на микропроцессорных регуляторах первого поколения типа «РЕМИКОНТ Р-130».

РЕМИКОНТ Р-130 – это компактный малоканальный многофункциональный контроллер общепромышленного назначения, обеспечивающий автоматическое регулирование и логическое управление технологическими процессами. РЕМИКОНТ Р-130 эффективно решает как сравнительно простые, так и сложные задачи управления. Благодаря малоканальности РЕМИКОНТ Р-130 позволяет, с одной стороны, экономично управлять небольшим агрегатом и, с другой, – обеспечить высокую живучесть крупных систем управления.

Однако в данной работе рассматривается проект системы на новейшем программируемом логическом контроллере «Omron CP1L-L20D».

Компания Omron – один из мировых лидеров по производству ПЛК. В линейке контроллеров Omron представлены как компактные модели для небольших производств с количеством входов/выходов до 160 (CP1E, CP1L), так и мощные модели, способные обеспечить бесперебойную работу больших производственных комплексов, с количеством дискретных входов/выходов от 2500 до 5000 и более (CJ2M, CS1G, CS1D).

В серию **CP1L**, используемую в данном курсовом проекте, входят модули ЦПУ для стандартных операций управления с использованием базовых команд, команд управления движением, арифметических команд и команд сравнения и модули ЦПУ, которые поддерживают подключение к программируемым терминалам, инверторам и сервоприводам.

Так как в проектируемой системе сигналы, поступающие от датчиков давления, расходомера, задатчика ручного управления, а так же сигнал положения исполнительного механизма, аналоговые, а данная модель контроллера имеет только дискретные входы, то дополнительно к контроллеру устанавливается 2 модуля аналоговых входов фирмы Omron **CP1W-AD041**. Модель контроллера позволяет установку до 3 модулей одновременно. Модули имеют по 4 аналоговых входа каждый, что позволит осуществить в будущем расширение и модернизацию системы.

В каждом из модулей аналоговых входов CP1W-AD041 имеется четыре аналоговых входа.

Для измерения уровня воды в барабане котла, будет использоваться измерительный преобразователь давления типа APR-2200 ALW, производства Aplisens, НПО Европрибор, г. Витебск, Республика Беларусь. Преобразователи предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование значения измеряемого параметра – разности давлений нейтральных и агрессивных сред (газа, пара и жидкостей).

Для измерения расхода питательной воды, будет использоваться измерительный преобразователь давления типа APR-2000 PZ, производства Aplisens, НПО Европрибор, г. Витебск, Республика Беларусь. Преобразователь APR-2000 PZ предназначен для измерений разности давлений газов, паров и жидкостей. Измерительным элементом является пьезорезистивная монолитная кремниевая структура, встроенная в приёмник давлений, отделенный от измеряемой среды разделительными мембранами и заполненный специальной жидкостью. Конструкция приёмника гарантирует устойчивость преобразователя к ударным воздействиям измеряемым давлением и к перегрузке по давлению до предельно допустимого статического давления 25 или 40 МПа.

Преобразователи работают на принципе преобразования пропорциональных измеряемой разности давлений изменений сопротивлений пьезорезистивного моста в стандартный токовый сигнал.

Измерительным элементом является кремневая мембрана с диффундированными в неё пьезорезисторами, отделенная от среды измерения разделительными мембранами и манометрической жидкостью.

Для измерения расхода перегретого пара, будет так же использоваться измерительный преобразователь давления типа APR-2000 PZ, производства Aplisens, НПО Европрибор, г. Витебск, Республика Беларусь, но модифицированный под параметры пара.

Исходя из требований к регулированию при проектировании был выбран блок ручного управления импульсный БУ-21.

В качестве исполнительного механизма был выбран механизм STO-4500-20-10.

Концевые выключатели на принципиальной электрической схеме не изображаются, так как они входят в комплект исполнительного механизма и регулирующего органа. Таким образом, защита на крайнее положение присутствует.

В качестве пускателя устанавливаем пускатель ПБР – 2-3, который предназначен для работы с исполнительными механизмами, оснащенными однофазными электродвигателями с симметричными обмотками. Основу пускателя составляют два тиристорных ключа, которые управляются сигналами, вырабатываемыми регулирующими блоками или оператором.

Основной элемент схемы управления – программируемый логический контроллер OMRON CP1L-L20D (далее ПЛК). Он собирает дискретную информацию от концевых выключателей (SQ2, SQ4) исполнительного механизма MAM1, о положении переключателя БУ-21, выдаёт дискретные сигналы управления, которые через промежуточные реле (K1, K2) поступают в схему управления исполнительного механизма MAM1. Также ПЛК принимает аналоговые сигналы (4-20 мА) о состоянии датчиков расхода (FQ1, FQ2) и уровня (BL1). Первичный сигнал от датчиков поступает на прибор регистрирующий VR06. Прибор должен быть установлен на щите и предоставляет эксплуатационному персоналу визуальную информацию о состоянии техпроцесса. Далее, аналоговый сигнал передаётся в ПЛК с выходов VR06. Также ПЛК принимает аналоговый сигнал от устройства задающего ЗУ-50 и аналоговый сигнал от датчика положения исполнительного механизма (MAM1).

Исполнительный механизм MAM1 приводится в действие пускателем бесконтактным реверсивным AMS1 (далее ПБР). Выбор режима управления (от ПЛК либо вручную) осуществляется с блока управления БУ-21.

Блок управления имеет два положения: «автоматическое» и «дистанционное». Положение «автоматическое» передает сигнал в ПЛК о том, что управление

исполнительным механизмом будет осуществляться автоматически от ПЛК в соответствии с ранее записанной программой в ПЛК. ПЛК начинает обрабатывать сигналы от датчиков и задающего устройства и выполнять технологический цикл в соответствии с записанным в него алгоритмом, выдавая управляющие сигналы на реле К1 или К2, которые, в свою очередь, передают управляющий сигнал на ПБР «Меньше» или «Больше» соответственно. Тогда клапан либо закрывается, либо открывается. Сигнал управления проходит через концевые выключатели SQ1 и SQ3, которые блокируют ошибочное управление в крайних положениях исполнительного механизма МАМ1.

Положение «дистанционное» переключателя БУ-21 позволяет отключить схему управления от ПЛК и задействует ручной режим управления, который осуществляет сам оператор исходя из показаний на приборе регистрирующем VR06. На блоке управления БУ-21 расположены кнопки ручного управления «Больше» и «Меньше». Нажимая на эти кнопки, оператор открывает либо закрывает клапан.

#### **Выводы**

Применение новейших микропроцессорных контроллеров производства компании «Omron» позволяет существенно удешевить систему автоматического регулирования, упростить настройку системы и значительно улучшить качество переходных процессов в системе за счет возможности построения гибкой внутренней структуры регулятора, в частности, программированием не только типовых регуляторов, но и структурно оптимизированных и инвариантных САР.

#### **Литература**

1. Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Ключев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Плетнев, П.Г. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

УДК 621.3

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ МИНСКОЙ ТЭЦ-2

Суханов А.С.

Научный руководитель – к.э.н, доцент Кравченко В.В.

Необходимость модернизации отделения водоподготовки вызвана тем, что на МТЭЦ-2 устанавливаются два блока ПГУ, для питания которых требуется обессоленная вода. Кроме того, требуется замена морально и физически устаревшего оборудования подготовки воды для ПТС.

В качестве предварительной очистки воды для установки обессоливания и установки подпитки теплосети предусматривается установка самопромывных фильтров и установка ультрафильтрации (УУФ).

Исходная речная вода подаётся на самопромывные фильтры «Arkal» для удаления крупнодисперсных (более 200 мкм) механических примесей, после чего подогревается до 20–35 °С и со среднечасовым расходом 300 м<sup>3</sup>/ч (максимальный поток не более 380 м<sup>3</sup>/ч) под давлением 2,0–3,0 атм (не более 3,5 атм) подается на ультрафильтрационную установку.

УУФ используется для очистки исходной речной воды перед ионным обменом. Технология ультрафильтрации применяется для удаления примесей, размер которых находится в пределах 0,01–0,1 мкм. При этом из воды удаляются органические соединения, коллоидные соединения железа и кремнекислоты, вирусы и бактерии.

Необходимость удаления указанных соединений на водоподготовительной установке Минской ТЭЦ-2 обусловлена требованием к качеству воды перед ионообменными материалами установки обессоливания и умягчения. Кроме того, ультрафильтрация обладает биоцидным эффектом, так как позволяет задерживать биологические объекты вплоть до вирусов, что важно для эксплуатации ионообменных материалов.

На установке химобессоливания вода готовится по схеме одноступенчатого Н-катионирования с противоточной регенерацией, декарбонизация, одноступенчатого анионирования на высокоосновном анионите с противоточной регенерацией. Далее для более глубокого обессоливания и обескремнивания вода пропускается через фильтр смешанного действия (ФСД), загруженный перемешанной смесью Н-катионита и ОН-анионита.

Существующая установка подпитки теплосети реконструируется. Существующие механические и Na-катионитные фильтры демонтируются. Проектом предусматривается замена в существующих Н-катионитовых фильтрах дренажных систем и фильтрующего материала на карбоксильный катионит, что позволяет обеспечить высокие скорости пропуска регенерационного 0,7 % раствора серной кислоты, снизить расходы H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и расходы воды на собственные нужды, увеличить фильтроцикл.

Затем для удаления углекислого газа вода поступает в декарбонизаторы типа “Бутылка” и далее подаётся на подпитку теплосети.

Для создания нормируемого рН воды, поступающей на подпитку теплосети, дозируется едкий натр.

Для очистки возвращаемого производственного конденсата устанавливается УУФ для его обезжелезивания, и установка Н<sup>+</sup>- ОН<sup>-</sup> ионитных фильтров для его обессоливания. Далее очищенный конденсат подаётся в бак обессоленной воды на ХВО ПГУ.

Существующая химводоочистка состоит из следующих установок:

- установка для подпитки паровых котлов. Схема: осветление исходной воды на механических фильтрах, водород-катионирование с “голодной” регенерацией, декарбонизация, натрий-катионирование (рисунок 1). Производительность – 100 м<sup>3</sup>/ч;

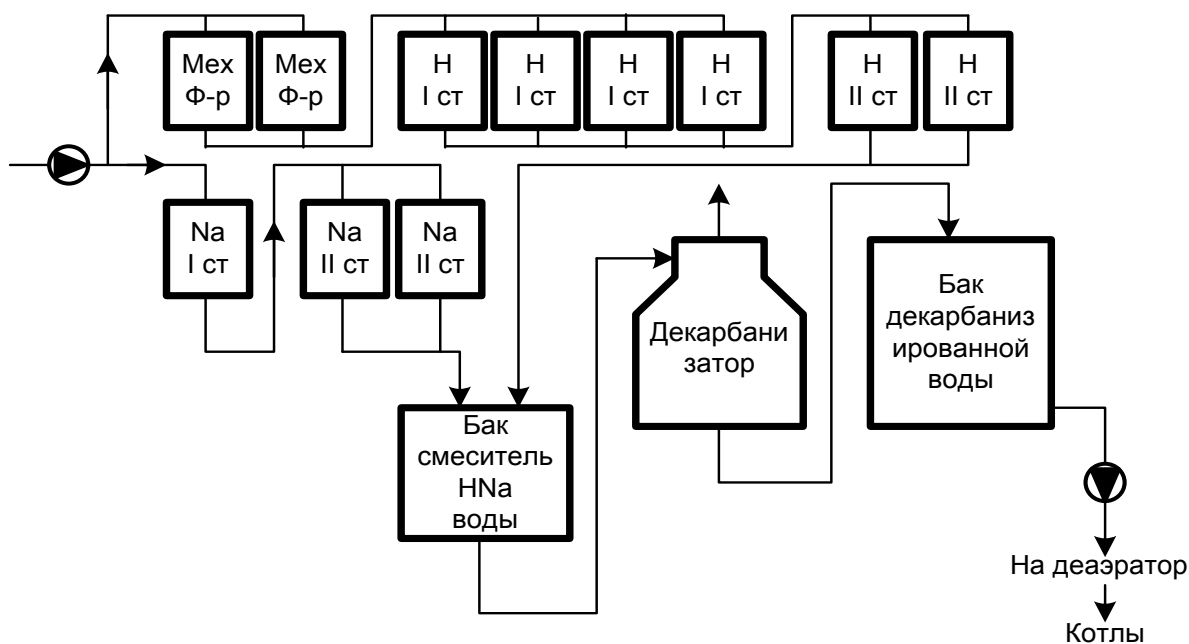


Рисунок 1 – Установка для подпитки паровых котлов

- установка для подпитки теплосети. Схема: осветление исходной воды на механических фильтрах, водород-катионирование с “голодной” регенерацией, декарбонизация (рисунок 2). Производительность – 150 м<sup>3</sup>/ч. Периодически возвращаемый конденсат с производства собирается в два бака объёмом 25 м<sup>3</sup> и подаётся в деаэрактор.

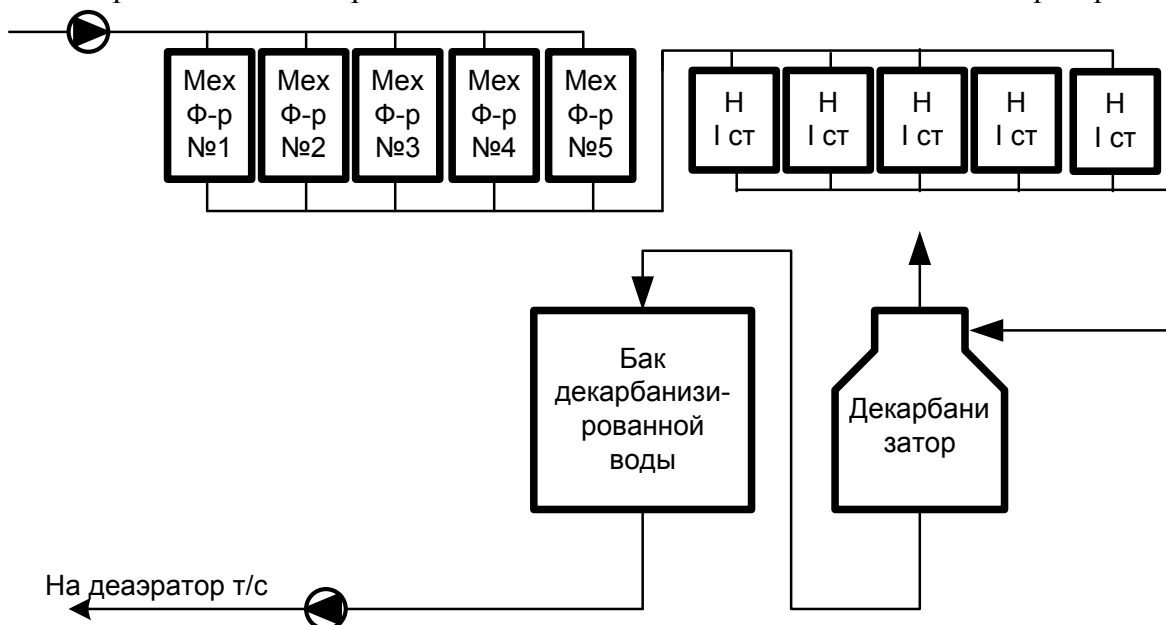


Рисунок 2 – установка для подпитки теплосети

### Предлагаемые решения, производительность водоподготовительных установок (ВПУ)

Установка обессоливания воды размещается в здании ПГУ.

Осуществляем замену следующих установок:

- установки ультрафильтрации для осветления исходной воды. Производительность установки обеспечивает водой проектируемую обессоливающую установку в ПГУ, установку подпитки СОО, существующую установку подпитки теплосети;
- установки очистки производственного конденсата;
- установки нейтрализации стоков ХВО.



Предусматриваем также реконструкцию существующей установки подпитки теплосети, склада химреагентов.

Существующая обессоливающая установка для подпитки паровых котлов, расположенная в главном корпусе, выводится из эксплуатации.

В таблице 1 представлена производительность основных ВПУ.

Таблица 1 – Производительность водоподготовительных установок

Установки	Режимы		
	Максимально-зимний	Средне-зимний	Летний
Установка обессоливания воды для подпитки паровых котлов, м <sup>3</sup> /ч	59-70		
Установка умягчения воды для подпитки теплосети, м <sup>3</sup> /ч	205,0	109,0	82,0
Установка обработки воды для подпитки системы оборотного охлаждения, м <sup>3</sup> /ч.	38,0	38,0	50,0
Установка очистки производственного конденсата, м <sup>3</sup> /ч.	49,5	22,0	12,0

Предлагаются следующие решения для установок подготовки воды:

1. Установка ультрафильтрации проектируется для очистки исходной речной воды перед ионным обменом.

Мембранная фильтрация – это процесс, протекающий под давлением с использованием полупроницаемых пористых мембран для удаления твёрдых частиц, бактерий, простейших микроорганизмов, вирусов, органических молекул. Ультрафильтрационные мембраны действуют как сито, задерживая частицы, а вода проходит через мембрану в качестве фильтрата. Удержанные взвеси концентрируются в потоке, который выводится из системы. Мембранные технологии позволяют очистить поверхностные воды без коагуляции, обеспечивают высокий процент выхода фильтрата (до 90 %), удобны в использовании системы контроля, компактны, эксплуатационные затраты минимальны.

Часть осветлённой воды подаётся в здание ПГУ на установку обессоливания и на подпитку системы оборотного охлаждения.

Вторая часть осветлённой воды подаётся на подпитку существующей установки для подпитки теплосети.

Для восстановления фильтрующей способности мембранных элементов проводится удаление загрязняющих элементов с помощью реверс-фильтрации (обратная промывка водой), воздушного скруббинга (используется сжатый воздух).

Остаточные загрязнения могут быть удалены во время мойки с химическими реактивами, проводимой 1 раз в месяц.

Промывочная вода после установки ультрафильтрации поступает или на гипсовый шламоотвал для разбавления нейтрализованных стоков ХВО до норм ПДК, или сбрасывается в производственно-дождевую канализацию.

2. Существующая установка подпитки теплосети реконструируется.

Существующие механические и Na-катионитные фильтры демонтируются. Осветлённая вода после установки ультрафильтрации умягчается на H-катионитных фильтрах. Для удаления углекислого газа вода поступает в декарбонизаторы типа “Бутылка” и далее подаётся на подпитку теплосети.

Для создания нормируемого pH воды, поступающей на подпитку теплосети, в трубопроводы дозируется едкий натр. Качество обработанной воды представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Основные показатели работы оборудования ВПУ

Наименование	Установка ультра-фильтрации	Н-катионитные фильтры подпитки теплосети	Конденсатоочистка		
			Установка ультра-фильтрации	Н-катионитные фильтры	Анионитные фильтры
Количество обрабатываемой воды, м <sup>3</sup> /ч	240,9	113,0	24,2	23,2	22,6
Тип оборудования и параметры: Диаметр, м Количество (в т.ч. 1 шт. для гидроперегрузки), шт. Из них постоянно работающих, шт	1 установка из 3-х модулей по Q=100м <sup>3</sup> /ч	2,0 5 2	1 установка из 3-х модулей по Q=25м <sup>3</sup> /ч	1,0 3 1	1,0 3 1
Высота слоя, м	-	1,6	-	1,0	1,3
Марка фильтрующего материала	Мембраны	Слабокислотный катионит С-104 (PUROLITE)	Мембраны	Сильнокислотный катионит С-100Н (PUROLITE)	Сильноосновный анионит А400 (PUROLITE)
Скорость фильтрования, м/ч	-	18,0	-	29,7	28,9
Количество регенераций в сутки	-	0,77 (рег/сут)	-	0,5 (рег/мес)	0,5 (рег/мес)
Обменная ёмкость, г-экв/м <sup>3</sup>	-	2100,0	-	-	-
Тип реагента	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -0,7%	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -4%	NaOH-5%
Удельный расход реагентов на регенерацию, кг/ м <sup>3</sup>	-	1,05 (г-экв/г-экв)	-	100,0 (кг/ м <sup>3</sup> катионита)	120,0 (кг/ м <sup>3</sup> катионита)
Расход технического продукта на регенерацию, кг/рег	-	587,2	-	84,8	290,5
Суточный расход технических реагентов, кг/сут	-	452,1	-	-	-
Расчёт выполнен для средне-зимнего режима					

В настоящее время часть Н-катионитных фильтров загружена карбоксильным катионитом, что позволило обеспечить высокие скорости пропуска регенерационного 0,7 % раствора серной кислоты. Это позволило улучшить органолептические свойства воды в системе, снизить расходы серной кислоты и расходы воды на собственные нужды, увеличить фильтроцикл.

Предусматриваем замену в остальных Н-катионитных фильтрах дренажных систем и фильтрующего материала на карбоксильный катионит.

Взрыхляющие и регенерационно-отмывочные стоки Н-катионитных фильтров направляются в баки-нейтрализаторы, нейтрализуются едким натром и выдерживаются (время определяется наладкой) для осаждения гипсового шлама. Вода над осадком сбрасывается в канализацию, 4 % гипсовая суспензия откачивается на шламоотвал.

### 3. Установка очистки производственного конденсата.

Производственный конденсат обезжелезивается на установке ультрафильтрации, состоящей из 2 комплектных фильтров, обессоливается на Н<sup>+</sup>-ОН<sup>-</sup> ионитных фильтрах и подаётся в бак обессоленной воды на ХВО ПГУ.

Промывочные воды после установки ультрафильтрации конденсатоочистки сбрасываются в дренажный канал, откуда вместе с дренажными водами ХВО, с помощью

насосов, откачиваются в бак-нейтрализатор. Взрыхляющие и регенерационно-отмывочные стоки ионитных фильтров конденсатоочистки подаются также в баки-нейтрализаторы.

### **Выводы**

При проведении модернизации отделения водоподготовки Минской ТЭЦ-2 в качестве предварительной очистки воды для установки обессоливания и установки подпитки теплосети предлагается установить Установку ультрафильтрации, проектируемую для очистки исходной речной воды перед ионным обменом. Установка ультрафильтрации является экономически выгодной, так как мембранные технологии позволяют очистить поверхностные воды без коагуляции, обеспечивают высокий процент выхода фильтрата (до 90 %), удобны в использовании системы контроля, компактны и имеют минимальные эксплуатационные затраты.

### **Литература**

1. Вукалович, М.П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. – М–Л.: Издательства «Энергия», 1965. – 400 с.: вкладки.
2. Долин, А.П. Справочная книга по технике безопасности в энергетике. – М.: Энергия, 1984. – 387 с.: ил.
3. Лазаренков, А.М. Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович. – Мн.: БНТУ, 2006. – 582 с.: ил.
4. Тепловые и атомные электрические станции: Дипломное проектирование: Учебное пособие для вузов / А.Т. Глюза, В.А. Золотарева, А.Д. Качан [и др.]; Под общ. ред. А.М. Леонкова, А.Д. Качана – Мн.: Выш. школа, 1990. – 336 с.: ил.
5. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 3).
6. Трухний, А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: Учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.: ил., вкладки.

УДК 621.181

## ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО НЕДОЖЕГА ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ

Соловей Д.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

Наладка режима горения существующих горелочных устройств, прежде всего, включает подбор оптимального коэффициента избытка воздуха. При недостатке воздуха в продуктах сгорания появляется оксид углерода. В действительности полное сгорание топлива при  $\alpha = 1$  не достигается из-за несовершенства процесса смешения в горелках. Переход к режимам сжигания топлив с минимальным, часто называемым околокритическим значением коэффициента избытка воздуха представляет одно из актуальных направлений современной энергетики. При нормальных эксплуатационных режимах котельных установок содержание продуктов химической неполноты сгорания в топочных газах должно поддерживаться на минимальном уровне.

Современные конструкции горелочных устройств и организация аэродинамики газовых потоков в топках котлов позволяет сжигать топливо с низкими коэффициентами избытка воздуха, порядка 1,03 - 1,05. Это обеспечивает наиболее экономичное использование топлива, создает условия минимизации содержания оксидов азота в продуктах сгорания.

Однако при сжигании топлива с минимальными избытками воздуха возможно появление в продуктах сгорания оксида углерода. В качестве практического примера можно показать, что при сжигании мазута с околокритическими коэффициентами избытка воздуха ( $\alpha$ ) были получены следующие значения содержания СО в продуктах сгорания:

$\alpha$	1,05	1,00	0,95
СО, %	0,2	2,5	5

При сопоставимом расчете коэффициента избытка воздуха по различным традиционным формулам при наличии химнедожога получены следующие значения  $\alpha$ :

$\alpha$ фактическое	1,05	1,00	0,95
$\alpha$ по азотной формуле	1,047	1,020	0,882
$\alpha$ по кислородной формуле	1,052	1,035	1,020
$\alpha$ по формуле Равича Б.М.	1,050	1,000	0,95

Причиной различий результатов расчетов является нечеткость определения объема продуктов сгорания при наличии химического недожога в различных формулах. И это вносит неточность в расчеты технико-экономических показателей работы котла.

УДК 621.182.4

## ОЧИСТКА РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ

Чайко Е.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

Для очистки регенеративных воздухоподогревателей применяется обдувка паром и воздухом при различном конструктивном исполнении аппаратов. Заводом «Ильмарине» для обдувки РВП паром в разное время поставлялись качающиеся аппараты типов ОАРВ, ОК, сейчас выпускаются только аппараты типа ОП.

В аппарате ОП обдувочная труба, конец которой снабжен соплом, совершает качательное движение с постоянной скоростью от периферии ротора к его центру и обратно.

Основным недостатком любого односоплового аппарата, сопло которого перемещается с постоянной скоростью от центра вращения к периферии по траектории, близкой к радиусу ротора РВП, является неравномерное количество очищаемого агента, приходящееся на единицу поверхности нагрева.

Таким образом, удельный расход агента очистки при постоянном диаметре сопла и параметрах агента очистки изменяется обратно пропорционально расстоянию сопла от центра вращения ротора.

Учитывая отмеченные недостатки односопловых аппаратов для обдувки регенеративных воздухоподогревателей, применяют многосопловые стационарные аппараты, преимущества которых заключается в простоте обслуживания (только закрыть и открыть пар), в отсутствии вращающихся и движущихся элементов, сокращение длительности обдувки. Кроме того, в них просто организовать более равномерное распределение обдувочного агента по радиусу ротора.

Многосопловой аппарат представляет собой стационарный коллектор, секционированный на несколько участков (в данном случае на три участка), к каждому из которых выполнен индивидуальный подвод пара. Сопла в пределах одного участка – одинаковые, расширяющиеся. Сечения сопел с удалением участка от вала вращения увеличиваются.

Расширяющиеся сопла обеспечивают сверхзвуковое истечение пара со скоростью до 900 – 1000 м/с. Путем секционирования и устройства центрального подвода пара к каждой секции разницу в давлениях перед соплами по длине аппарата сводят к минимуму и выравнивают скорости истечения пара. Недостатком подобных многосопловых аппаратов является повышенный единовременный расход пара, что требует больших диаметров подводящих трубопроводов. Последнее наиболее заметно проявляется для РВП с максимальными диаметрами ротора.

В качестве промывочных устройств водой высокого давления применяются передвижные и стационарные аппараты.

Передвижной аппарат позволяет последовательно обрабатывать кольцевые участки ротора и представляет собой поворотную трубу с многополосной головкой на конце. Обмывочная труба для жесткости усилена рамой в плоскости действия сил реакции при истечении воды.

Редкое использование аппарата на одном котле делает целесообразным быстрое перенесение его с одного РВП на другой. Последнее обеспечивается отсутствием сложной механической части и простой конструкции. Перемещенные аппарата при обмывке с одной позиции на другую производится вручную. С трассой высокого давления аппарат сочленяется с помощью шарнирного соединения. Недостаток подобной конструкции – значительное время очистки.

Промывку водой высокого давления целесообразно проводить как сверху, так и снизу РВП (иногда достаточна промывка снизу с последующей низконапорной промывкой

расходом около 100 т/ч). Последняя позволяет удалить отложения не только с РВП, но и из газоходов под ними, так как в процессе промывки водой высокого давления дренируемая из-под РВП вода содержит до 20 % золы, которая может отлагаться на слабонаклонных скатах газохода.

Применение описанного способа очистки РВП на многих электростанциях подтверждает его высокую эффективность. Во всех случаях удается восстановить аэродинамическое сопротивление поверхности до первоначального уровня. Опыт показал, что струи воды не оказывают разрушающего воздействия на теплообменную поверхность, в том числе и эмалированную, радиальные уплотнения и другие элементы ротора при умеренном пользовании ею.

Промывку следует применять 2 – 4 раза в год, сочетая ее с паровой обдувкой и применяя все указанные ранее мероприятия, приводящие к увеличению межпромывочной компании. Такую очистку целесообразно использовать и во время ремонтных работ для удаления отложений из вынутых пакетов РВП.

Нагрев поверхности регенеративных воздухоподогревателей дымовыми газами для борьбы с золовым заносом и коррозией предложен сотрудниками завода «Котлоочистка». Этот метод используется на мазутных котлах, оснащенных несколькими параллельно работающими РВП. Сущность его заключается в следующем.

На работающем котле в один из нескольких РВП на некоторое время (20 – 50 мин.) прекращается частично или полностью подача воздуха, который отводится в остальные воздухоподогреватели. За счет дымовых газов температурой 280 – 320<sup>0</sup>С теплообменная поверхность прогревается и деформируется, отложения золы на ней высушиваются и теряют свою прочность. Деформация теплообменных листов и термическое воздействие на отложения обеспечивают разрушение и отделение золовых отложений, которые и выносятся газами, что приводит к снижению коррозии поверхности и существенно уменьшает ее загрязнение.

Исследование этого метода на котле ТГМП-114 Киришской ГРЭС показало, что при подогреве теплообменных листов до 280 – 320 °С один раз в сутки сопротивление РВП в течение длительного времени удается поддерживать на уровне 590 – 780 Па. При этом значительно снизилась и коррозия в РВП.

В период нагрева поверхности РВП дымовыми газами происходит деформация элементов РВП и повышенный износ уплотнений, что приводит к увеличению зазоров и повышению перетоков воздуха в последующей эксплуатации. Ограничить это вредное явление удастся путем сокращения времени нагрева до 20 мин, за которое массивные элементы РВП (вал, крышки, корпус) не успевают существенно изменить свой температурный режим в сравнении с остальным периодом работы. Следует, однако, отметить, что с переходом на мощных агрегатах к РВП с диаметром ротора 8,8; 9,8 м и более опасность увеличения зазоров в уплотнениях и повышение перетоков воздуха возрастает. По-видимому, это явится одной из причин, ограничивающих применение такого способа.

Другое негативное влияние этого метода – снижение экономичности котла за счет повышения температуры уходящих газов на 20 – 25 °С.

При исследовании РВП котла ТГМ-94 отмечено, что когда прекращается подача воздуха в один из воздухоподогревателей, температура газов за ним возрастает до 280 – 290 °С, а за двумя оставшимися снижается до 110 – 120 °С. Средняя температура уходящих газов повышается со 140 °С до 160 – 165 °С.

В последние годы на ряде мазутных энергетических котлов сделана попытка использовать импульсную очистку для удаления золовых отложений из регенеративных воздухоподогревателей. Эти работы проведены УралВТИ и явились развитием области применения систем импульсной очистки, в становлении которых много сделано сотрудниками Казанского университета, Уралэнергочермета.

Сущность метода заключается в периодическом (взрывном) сжигании горючей смеси, состоящей из природного газа и воздуха в специальном объеме (камере), имеющем

свободный выход на очищаемые поверхности нагрева. В результате такого сгорания периодически резко увеличивается объем газов, что сопровождается повышенным выбросом продуктов сгорания с образованием периодических волн давления. Энергия взрывного горения и является тем импульсом, который воздействует на золотые отложения.

Установка работает следующим образом. Природный газ и воздух под давлением после открытия запорной арматуры подаются в смесительный объем, где образуется горючая (взрывоопасная) смесь примерно в пропорции: газ/воздух – 1/10. Далее смесь через диафрагмы (дырчатые) заполняет импульсную ударную трубу. После ее заполнения смесью газ отсекается электромагнитным клапаном и подается высокое напряжение на запальную свечу. Газовоздушная смесь воспламеняется, и продукты взрывного горения поступают через направленные отверстия на поверхность нагрева РВП.

Скорость смеси в байпасном трубопроводе выбирается такой, чтобы при заполнении импульсных ударных труб смесью на необходимый объем происходило зажигание смеси от свечи. Фронт пламени распространяется по байпасному трубопроводу, смесительному объему и далее через диафрагмы вызывает взрывное сгорание смеси в импульсных ударных трубах. Продукты взрыва создают в объеме ударных труб давление и выбрасываются через отверстия на поверхность РВП.

После снижения давления в ударных трубах свежая газовоздушная смесь выталкивает оставшиеся продукты сгорания и снова заполняет трубы. Цикл работы установки повторяется.

В ударных трубах развивается при сгорании смеси газ + воздух избыточное давление до 0,196 – 0,392 МПа (2 – 4 кгс/см), периодичность импульсов 2 – 8 с. Расход газа на установку составляет 20 – 50 м<sup>3</sup>/ч. Рекомендуемая продолжительность импульсной очистки 0,5 – 1 ч при включении ее 1 – 3 раза в смену.

УДК 621.182

## МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

Семака А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

Исследованиями установлено, что на мощных газомазутных котлах выбросы  $\text{NO}_x$  больше при работе на газе, чем на мазуте, на малых котлах – наоборот.

На котлах мощных газомазутных энергоблоков без применения каких-либо мероприятий при работе на газе концентрация  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания находится в пределах 650-1050 мг/м<sup>3</sup>.

Технологические методы подавления  $\text{NO}_x$  основаны на снижении температуры и содержания кислорода в зоне активного горения, а также создании в топочной камере зон с восстановительной средой, где продукты неполного горения, вступая во взаимодействие с образующимся оксидом азота, приводят к восстановлению  $\text{NO}_x$  до молекулярного азота.

На основании экспериментальных данных и имеющегося практического опыта могут быть рекомендованы к внедрению следующие основные технологические методы снижения  $\text{NO}_x$  в газомазутных котлах:

- внедрение режимов с малыми значениями  $\alpha$ , а при ступенчатом сжигании – пониженными  $\alpha$  на грани появления химической неполноты сгорания;
- рециркуляция дымовых газов через горелки в смеси с воздухом;
- двухступенчатое сжигание топлива, что может быть реализовано в конструкции горелок или в топке в целом;
- трехступенчатое сжигание топлива (наиболее целесообразно применять для новых котлов);
- применение специальных горелок;
- впрыск воды (снижает  $\text{NO}_x$  на 20-25 %, но приводит к уменьшению КПД котла приблизительно на 0,8 %);
- двухсветные экраны (для новых котлов);
- специальные методы сжигания (например, кипящий слой);
- снижение температуры горячего воздуха.

Все эти методы достаточно хорошо известны и практически все опробованы. Задача заключается в том, чтобы реализовать их на котлах с минимальными затратами средств, с минимальным снижением экономичности, не ухудшая показателей надежности как на основном, так и на резервном топливах.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при одновременном применении нескольких технологических методов удается при сжигании газа снизить выбросы  $\text{NO}_x$  в 4-5, а иногда и более раз.

Достоинством метода оптимизации является отсутствие дополнительных капитальных затрат, однако низкие избытки воздуха приводят к увеличению химической неполноты сгорания, а в ряде случаев - к образованию канцерогенных веществ. Поэтому реализация данного метода подавления оксидов азота на практике требует определенной культуры эксплуатации.

Конструкция горелочного устройства во многом определяет интенсивность воспламенения факела, скорость смешения топлива с воздухом и максимальный уровень температур в ядре горения.

Для сокращения выбросов оксидов азота с дымовыми газами предлагается реконструкции горелочных устройств, как наименее затратного и достаточно эффективного способа. Реконструкция горелочных устройств направлена на снижение температуры в ядре факела путем более равномерное распределение температуры в топке котлоагрегата. Это позволит снизить образование термических оксидов азота.



При реконструкции существующие горелочные устройства заменяются на новые, сохраняется подача пыли высокой концентрации под давлением и тангенциальное расположение горелок.

Сбросные горелки выносятся выше основных по тангенциальной схеме, что должно увеличить высоту зоны горения, уменьшить выбросы оксидов азота и снизить вероятность шлакования топочной камеры.

На топке устанавливаются четыре новые разводки под пылеугольные горелки и четыре разводки под сбросные горелки.

Блочная пылеугольная горелка выполнена в виде блока из двух горелок с индивидуальным подводом воздуха и пыли к каждой из них. Пылеугольная горелка состоит из воздушного короба, разделенного на три воздушных канала для равномерного распределения воздуха по выходному сечению горелки. В одном из каналов воздуха устанавливается сопло подачи пыли. Индивидуальный подвод воздуха и пыли в каждую горелку позволяет сохранить оптимальный режим работы горелок при изменении нагрузки путем отключения горелок.

Наиболее универсальным методом подавления  $\text{NO}_x$  для газомазутных котлов является метод ступенчатого сжигания. Под ступенчатым (или стадийным) сжиганием подразумевается такая организация процесса горения, когда через горелки с топливом подается воздух в количестве, меньшем стехиометрического, а остальное необходимое по балансу количество воздуха вводится в топочную камеру далее по длине факела.

Суть метода дожига топлива состоит в частичном восстановлении окиси азота ( $\text{NO}$ ) продуктами неполного сгорания в топочной камере.

Выше основных пылеугольных горелок в топке котла устанавливаются дополнительные горелки, в которые подается часть топлива с недостатком воздуха и создается зона с восстановительной средой. Еще выше располагают сопла для ввода третичного воздуха, необходимого для завершения сгорания. Опыт показывает, что в промышленных установках за счет ввода дожигающего топлива возможно снизить концентрацию  $\text{NO}_x$  в дымовых газах до 120...210 мг/м<sup>3</sup> (н.у.). Этот метод активно исследовался энергетиками Японии, Германии и США.

Рециркуляция дымовых газов дает лучшие результаты применительно к топливу с низким содержанием азота, чем с высоким.

Максимальный эффект снижения выхода  $\text{NO}_x$  наблюдается при вводе дымовых газов вместе с воздухом или по отдельным каналам горелок. В последнем случае скорость газов рециркуляции должна быть равна или несколько больше среднерасходной скорости воздуха на выходе из горелок. При сжигании газового топлива еще больший эффект снижения наблюдается при вводе газов рециркуляции непосредственно в газообразное топливо, однако конструкция такого ввода еще недостаточно отработана.

Процесс снижения  $\text{NO}_x$  эффективен при доле газов рециркуляции 20 - 22 %. Дальнейшее увеличение приводит к незначительному снижению выхода оксидов азота при одновременном ухудшении экономичности установки.

При сжигании топлива в кипящем слое температура в топке относительно невысока (800...1000 °С), что уменьшает образование термических оксидов азота. Содержание оксидов азота в дымовых газах составляет 100...200 мг/м<sup>3</sup>.

Способ отличается простотой, легкостью регулирования и низкими капитальными затратами. На газомазутных котлах он позволяет снизить выбросы  $\text{NO}_x$  на 20...30 %, но требует дополнительных затрат теплоты на парообразование и вызывает увеличение потерь с уходящими газами. При сжигании угля достигнутые в настоящее время результаты не столь значительны. За рубежом впрыск пара или воды для снижения образования  $\text{NO}_x$  практически не применяется.

Подача к горелкам пыли высокой концентрации (10...30 кг пыли на один килограмм воздуха) по трубопроводам малого диаметра снижает выбросы оксидов азота на 20...30 % при одновременном упрощении схемы и конструкции пылепроводов.

**Литература**

1. Пашков, Л.Т. Основы теории горения – М.: МЭИ, 2002 – 136 с.
2. Росляков, П.В. Нестехиометрическое сжигание природного газа и мазута на тепловых электростанциях / П.В. Росляков, И.А. Закиров. – М.: МЭИ, 2001. – 144 с.

УДК 621.165

## ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕАЭРАТОРОВ В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС

Сокол Д.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

Термические деаэратеры по способу нагревания воды классифицируются на деаэратеры смешивающего типа и деаэратеры перегретой воды. В первых вода нагревается вводимым в головку аппарата паром. В деаэратере перегретой воды последняя вводится в деаэратер под давлением выше давления насыщения, то есть в перегретом состоянии. При снижении (редуцировании) давления перегретая вода испаряется, пар нагревает деаэрируемую воду, газы выделяются и выводятся с выпаром из деаэратера. Эти деаэратеры (перегретой воды) применяются в практике тепловодоснабжения при отсутствии источников пара для деаэрации.

Вакуумные деаэратеры и деаэратеры атмосферные, работающие на добавочной умягченной воде, имеют своей задачей не только удаление растворенного в воде кислорода, но и удаление углекислого газа и разложение бикарбонатов натрия.

В вакуумных деаэратерах, работающих при давлении  $0,3 \text{ кгс/см}^2$ , остаточное содержание кислорода, растворенного в деаэрируемой воде, может достигать до  $30 \text{ мкг/кг}$  (при норме  $50 \text{ мкг/кг}$ ), полностью удаляется свободная углекислота и в небольшой мере (около  $6,5 \%$ ) происходит разложение бикарбоната натрия.

При использовании вакуумных деаэратеров должен обеспечиваться средний подогрев воды на  $15 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$  в диапазоне изменения производительности от  $30$  до  $120 \%$  номинальной нагрузки.

Деаэратеры атмосферные типа ДСА с теплоносителем в виде смешивающегося с водой водяного пара, нагревающего воду до кипения, работают при давлении, немного превышающем нормальное атмосферное давление (до  $1,2 - 1,3 \text{ кгс/см}^2$ ).

Они должны обеспечивать остаточную концентрацию кислорода в воде не выше  $30 \text{ мкг/кг}$  для котлов с естественной циркуляцией, работающих при средних давлениях до  $40 \text{ кгс/см}^2$  и не выше  $20 \text{ мкг/кг}$  для котлов с естественной циркуляцией, работающих при высоких давлениях от  $40$  до  $100 \text{ кгс/см}^2$ . Эти требования указаны в существующих правилах технической эксплуатации (ПТЭ). Двухступенчатые деаэратеры типа ДСА обычно применяют в теплоэлектроцентралях с большими и переменными расходами добавочной воды, умягченной  $\text{H}^+ - \text{Na}^+$ -катионированием.

Деаэратеры типа ДСА могут быть использованы в установках для подпитки тепловых сетей и дегазации воды централизованных систем горячего водоснабжения, имеющих водяной пар для обеспечения требуемого нагрева деаэрируемой воды обычно до температуры  $104 \text{ }^\circ\text{C}$ . Отечественная промышленность производит целый ряд деаэратеров типа ДСА колоночного исполнения деаэрирующей головки, различающиеся по производительности от  $5$  до  $300 \text{ т/ч}$ .

Все высокопроизводительные деаэратеры ДСА обычно изготавливаются в виде аппаратов двухступенчатого барботажного исполнения с отдельным подводом водяного пара над зеркалом воды в баке-аккумуляторе со стороны противоположной деаэрирующей колонки, устанавливаемой у одного из торцов бака. Такой подвод пара предусматривает не только организацию – встречного потока пара и воды в колонке деаэратера, но и надежную вентиляцию пространства над водой в баке-аккумуляторе. Вторым местом ввода пара является погружное барботажное устройство у днища бака-аккумулятора в стороне, противоположной месту расположения деаэрирующей колонки.

Барботаж пара через толщу воды в баке-аккумуляторе увеличивает глубину деаэрации и приводит к остаточной концентрации кислорода в деаэрируемой воде до  $15 \text{ мкг/кг}$ ; при норме до  $30 \text{ мкг/кг}$  в деаэратерах ДСА и до  $5 \text{ мкг/кг}$  в деаэратерах ДСП при норме  $10 \text{ мкг/кг}$ .

Однако такой барботаж вызывает расход пара в количестве 20 кг/т воды для деаэраторов ДСА и 12 кг/т воды для деаэраторов ДСП.

На блочных КЭС и крупных промышленных ТЭЦ, где добавочная вода в конечном виде приготавливается путем глубокого ионитового обессоливания и декарбонизации, нет необходимости в разложении бикарбонатов натрия ввиду их отсутствия. Вода, поступающая на деаэрацию, содержит относительно небольшую концентрацию кислорода. В этих условиях обычно применяют термические деаэраторы типа ДСП с колоночным одноступенчатым устройством.

Давление пара, подаваемого в колонку деаэратора, составляет обычно от 6 до 8 кгс/см<sup>2</sup>.

При исходном кислороде около 1 мг/кг остаточное содержание кислорода в деаэрируемой воде достигается от 5 до 10 мкг/кг. Объем бака-аккумулятора обычно рассчитывается исходя из запаса на 30-минутный расход питательной воды парогенератором. Следует заметить, что согласно правилам технической эксплуатации (ПТЭ) содержание кислорода после конденсатных насосов (при нагрузках более 50 %) должно быть для котлов до 100 кгс/см<sup>2</sup> не более 50 мкг/кг и для котлов более 100 кгс/см<sup>2</sup> – не выше 20 мкг/кг.

Следует отметить большую роль главных конденсаторов паровых турбин как аппаратов вакуумной деаэрации конденсата и добавочной воды, которая вводится в цикл через главный конденсатор. Режим главного конденсатора при вакууме, достигающем 97 %, при отсутствии подсосов воздуха и охлаждающей воды через неплотности, сальниковые уплотнения конденсаторных насосов, при эжекции газов из пространства главного конденсатора, обеспечивает условия деаэрации жидкой фазы, находящейся в объеме главного конденсатора, и оказывает значительное улучшение условий последующей деаэрации питательной воды в штатном термическом деаэраторе.

Основными факторами, определяющими преимущества вакуумных деаэраторов перед деаэраторами других типов, например, перед атмосферными аппаратами на тепловых электростанциях, являются:

- в схемах деаэрации подпиточной воды теплосети - применение пара низкопотенциальных отборов или отработанного пара турбин ТЭЦ для подогрева теплоносителей перед вакуумными деаэраторами и устранение потерь конденсата греющего пара за счет использования в качестве греющего агента перегретой подпиточной или сетевой воды;

- в схемах деаэрации добавочной питательной воды котлов - снижение давления пара отопительных отборов турбин, в схему которых включены вакуумные деаэраторы, до уровня, определяемого температурным графиком работы теплосети, и использование низкопотенциальных нерегулируемых отборов турбин для регенеративного подогрева деаэрированной воды.

Основными частями вакуумной деаэрационной установки являются деаэратор, газоотсасывающее устройство, теплообменники, трубопроводы и бак-аккумулятор.

До 50 % нарушений режима вакуумной деаэрации приходится на неисправности устройств для удаления выпара, которые, безусловно, являются самыми ненадежными узлами деаэрационных установок.

Достаточно простым техническим решением, позволяющим повысить гидродинамическую устойчивость деаэратора, является установка в испарительном отсеке параллельно барботажному листу волногасительной решетки. Решетку следует изготавливать из вертикально устанавливаемых металлических полос и крепить к стенкам испарительного отсека с достаточным запасом прочности. Полосы решетки, расположенные перпендикулярно направлению потока перегретой воды, гасят кинетическую энергию потока, благодаря чему снижается интенсивность волнообразования и под всей площадью барботажного листа поддерживается более равномерная паровая подушка.

Снижению интенсивности волнообразования под барботажным листом способствовало устранению вертикальной перегородки между деаэрационным и испарительным отсеками в модернизированном варианте деаэратора горизонтального типа.

Существенного повышения гидродинамической устойчивости вакуумного деаэратора можно добиться организацией раздельного слива из аппарата деаэрированной воды и воды, не испарившейся в испарительном отсеке.

Для поддержания необходимого перепада давлений на барботажном листе трубопровод слива воды из испарительного отсека выполняется в виде гидрозатвора. Высота гидрозатвора и соответствующий ей перепад давлений на барботажном листе могут изменяться с помощью открытия или закрытия задвижек на перемычках между подъемной и отпусковой частями гидрозатвора.

На гидродинамическую устойчивость деаэратора помимо особенностей конструкции существенно влияет режим работы трубопровода слива деаэрированной воды из аппарата. Вопросы организации нормального режима работы сливных трубопроводов вакуумных деаэраторов почти не нашли отражения в литературе и недооцениваются при проектировании и эксплуатации вакуумных деаэрационных установок.

Деаэрированная вода, как и вода, не испарившаяся в испарительном отсеке, сливается самотеком из деаэратора в промежуточный бак или непосредственно в бак-аккумулятор под действием сил гравитации. Емкость, в которую сливается вода, находится под атмосферным давлением.

В случае, если вода сливается в верхнюю, воздушную часть емкости, как это иногда предусматривается проектами деаэрационных установок, при частичном заполнении водой сечения сливного трубопровода в нем возможно наличие двух движущихся навстречу друг другу фаз: воды, сливающейся из деаэратора, и воздуха, подсасываемого в деаэратор из промежуточного бака. В связи с этим ввод сливного трубопровода в промежуточный бак следует выполнять таким образом, чтобы выходное сечение трубопровода было всегда заполнено водой. При работе вакуумного деаэратора в сливном трубопроводе поддерживается столб воды, высота подъема которого  $\Delta H_g = H_g - H_{но}$  зависит от разрежения в деаэраторе.

Коррозионным повреждениям очень подвержены и подогреватели исходной недеаэрированной воды, особенно при работе водоподготовительной установки по традиционному тепловому режиму, с подогревом химически очищенной воды, содержащей значительное количество диоксида углерода, до температуры 60-70 °С. Срок службы подогревателей значительно увеличивается при сосредоточении подогрева исходной воды перед декарбонизаторами и снижении ее до температуры 35-50 °С. Однако и в этом случае срок службы латунных трубных пучков теплообменников не превышает 5 лет. В связи с этим технически и экономически оправдано изготовление трубных систем этих подогревателей из коррозионностойких материалов.

На некоторых предприятиях серьезно ухудшает работу деаэраторов повторное насыщение кислородом деаэрированной воды в баках-аккумуляторах. По проведенным наблюдениям при хорошо организованном подводе воды в баки-аккумуляторы, исключаящем интенсивные вертикальные токи воды в них, повторному насыщению подвержен лишь незначительный слой воды у ее поверхности. При надежном антикоррозионном покрытии стенок баков насыщение кислородом этого слоя не представляет опасности.

Однако в случае невозможности предотвратить интенсивное перемешивание воды в баках защита от повторного насыщения кислородом необходима. В небольших промежуточных баках вакуумных деаэрационных установок, работающих в цикле подготовки питательной воды, целесообразно создание над поверхностью воды паровой подушки с незначительным избыточным давлением.

Нередко к понижению надежности работы вакуумных деаэрационных установок приводит несовершенство их проектных схем. Наиболее распространенной проектной

недоработкой является отсутствие в схемах ТЭЦ теплообменников для достаточного подогрева потоков воды перед вакуумными деаэраторами. Так, в большинстве проектных схем установок для подпитки теплосети подогрев исходной воды предусматривается лишь во встроенных пучках конденсаторов теплофикационных турбин, а в качестве греющего агента в деаэраторах используется вода после основных сетевых подогревателей. Эта схема не обеспечивает надежного подогрева теплоносителей перед деаэраторами, поскольку режим работы подогревателей сетевой воды и встроенных пучков конденсаторов существенно изменяется в течение года. В отопительный период, когда турбины работают с минимальными пропусками пара в конденсаторы, не обеспечивается необходимый подогрев исходной воды во встроенных пучках, а в теплое время года температура воды после сетевых подогревателей оказывается недостаточной для нормальной работы вакуумных деаэраторов.

Вакуумные деаэрационные установки являются ответственными технологическими узлами тепловых электростанций и котельных, однако, как показано выше, надежность их основных элементов относительно невысока. Коэффициент готовности вакуумных деаэрационных установок, рассчитываемый как отношение времени их работы и нахождения в резерве в исправном состоянии к календарному времени, на различных предприятиях составляет 0,4-0,9.

#### Литература

1. Рихтер, Л.А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
2. Назмеев, Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: учебное пособие для вузов / Ю.Г. Назмеев, В.М.Ловыгин. – М.: МЭИ, 2005. – 260 с.

УДК 620.93: 681.515

## СРАВНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕГУЛЯТОРА РЕСВИКА И СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Селюк И.Г., Слуцкий А.Н.

Научные руководители – д.т.н. профессор Кулаков Г.Т., к.э.н. доцент Кравченко В.В.

Регулятор Ресвика впервые был опубликован в 1967 году в журнале “Автоматика и телемеханика”. Он основан на системе с вспомогательной обратной связью, содержащей запаздывание. Для этого необходимо знать точную математическую модель с запаздыванием и без запаздывания, при этом знание реакции объекта без запаздывания позволяет регулятору предвидеть будущее, а элементы предвиденья как раз и основаны на системе с вспомогательной обратной связью, содержащей запаздывание.

Исходные данные для моделирования:

В качестве объекта будем использовать инерционное звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(p) = \frac{k_1 e^{-\tau_1 p}}{(T_1 p + 1)}$$

$$k_1 = 1 ; T_1 = 128 \text{ с}; \tau_1 = 39 \text{ с}.$$

Передаточная функция регулятора Ресвика:

$$W_p(p) = \frac{1}{W_{об}^0(p)} \cdot \frac{1}{1 - \beta e^{-\tau_1 p}}$$

Получаем следующую структурную схему:

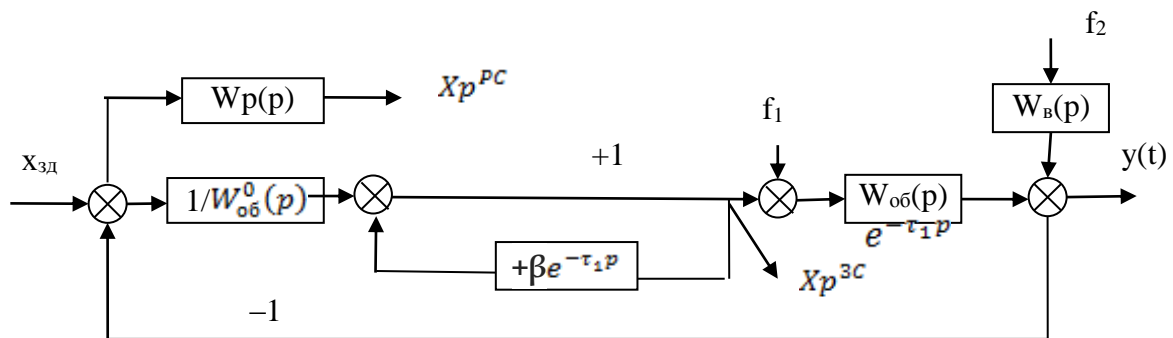


Рисунок 1 – Схема регулятора Ресвика

При реализации данной схемы, мы пришли к выводу, что инверсная передаточная функция объекта не реализуема в качестве фильтра регулятора, так как порядок числителя больше порядка знаменателя. По этой причине для реализации регулятора Ресвика в передаточную функцию регулятора добавляем идеальное интегрирующее звено  $\frac{1}{T_1 p}$  и получаем ПИ регулятор. Ресвик рекомендовал  $\beta < 1$ , таким образом, подберем  $\beta = (0,618; 0,148)$ . Соответственно получаем следующую схему моделирования в программе VisSim:

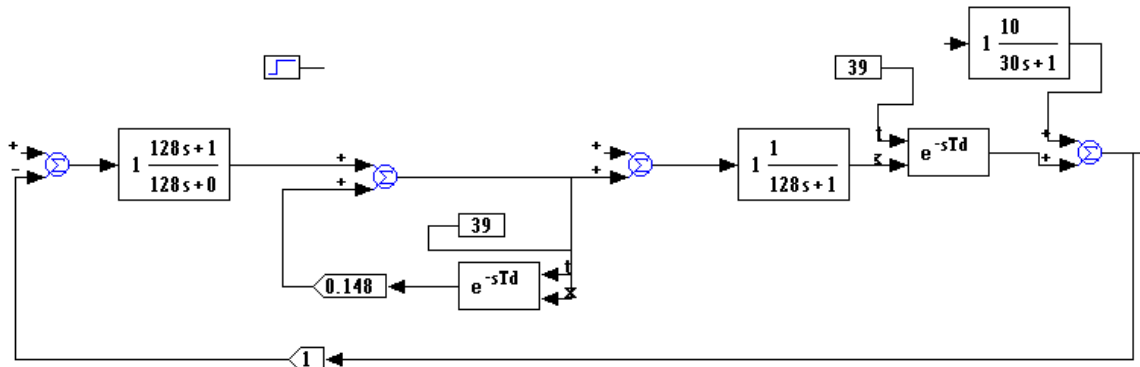


Рисунок 2 – Схема регулятора Ресвика в программе VisSim

**Оптимальный регулятор.**

В отличие от регулятора Ресвика в нашем методе присутствует  $W_{зд}^0 = \frac{1}{(T_{зд}p+1)}$  в фильтре и в дополнительной обратной связи с  $\beta = 1$ .

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{W_{об}^0(p) \cdot (T_{зд}p + 1)}; W_p^{opt}(p) = W_{\phi}(p) \cdot \frac{1}{1 - W_{зд}^0(p) e^{-\tau_1 p}}$$

Выбор оптимального  $T_{зд}$  производится по правилу “Золотого сечения”, принимая за целое  $\tau_1$ , с учетом максимальной величины регулирующего воздействия.

$$T_{зд} = \gamma \cdot \tau_1 = 0,382 \cdot 39 = 14,9 \text{ с}$$

$$T_{зд} = \gamma \cdot \tau_1 = 0,618 \cdot 39 = 24,1 \text{ с}$$

Имеем следующую структурную схему:

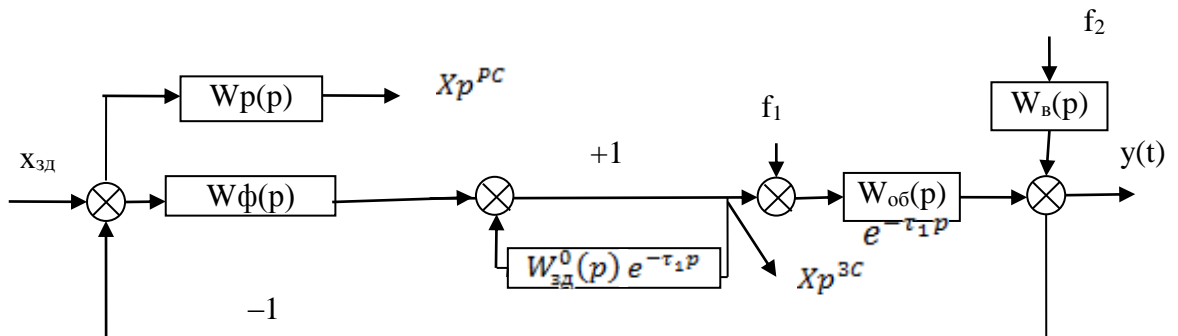


Рисунок 3 – Структурная схема оптимального регулятора

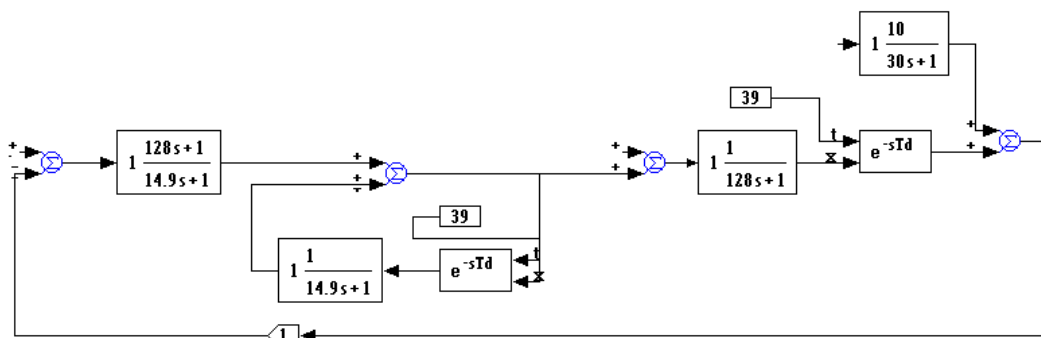


Рисунок 4 – Структурная схема оптимального регулятора в программе VisSim

Проведем сравнение данных регуляторов в программе VisSim:



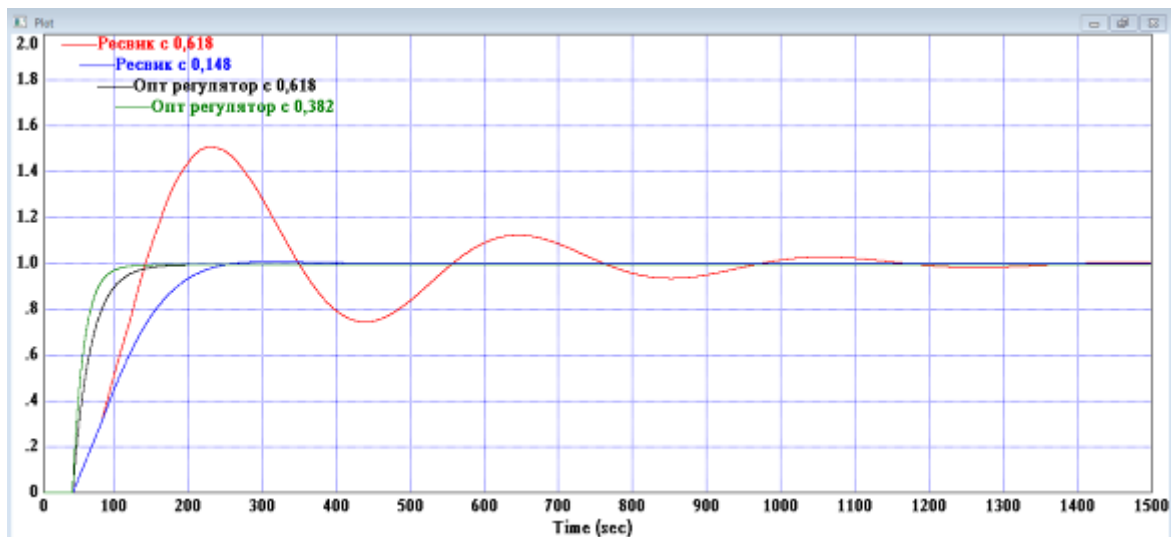


Рисунок 5 – График отработки скачка задания  $X_{зд}$

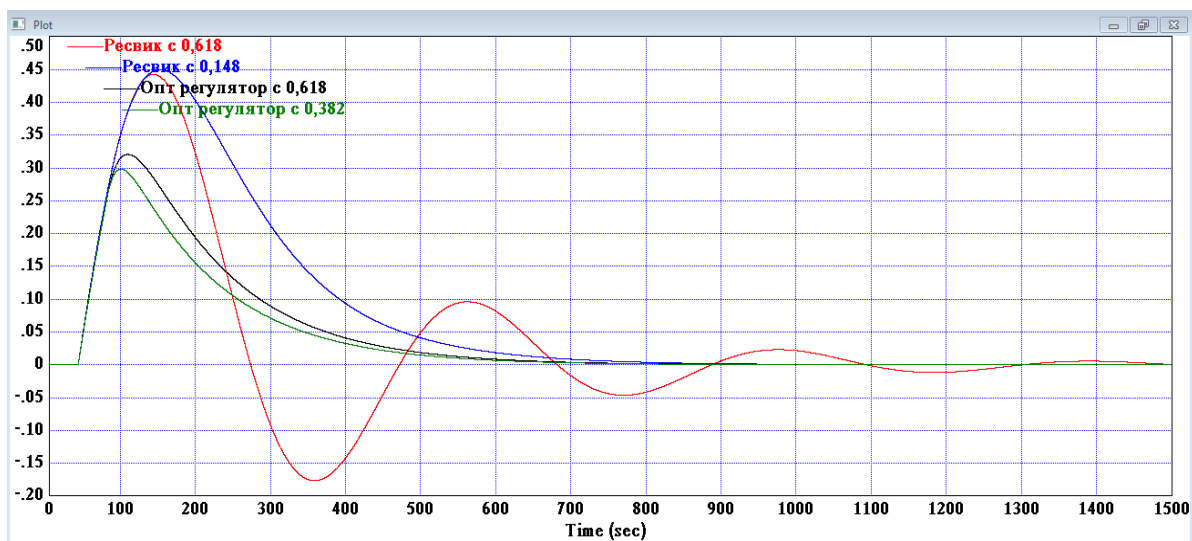


Рисунок 6 – График отработки внутреннего возмущения  $f_1$

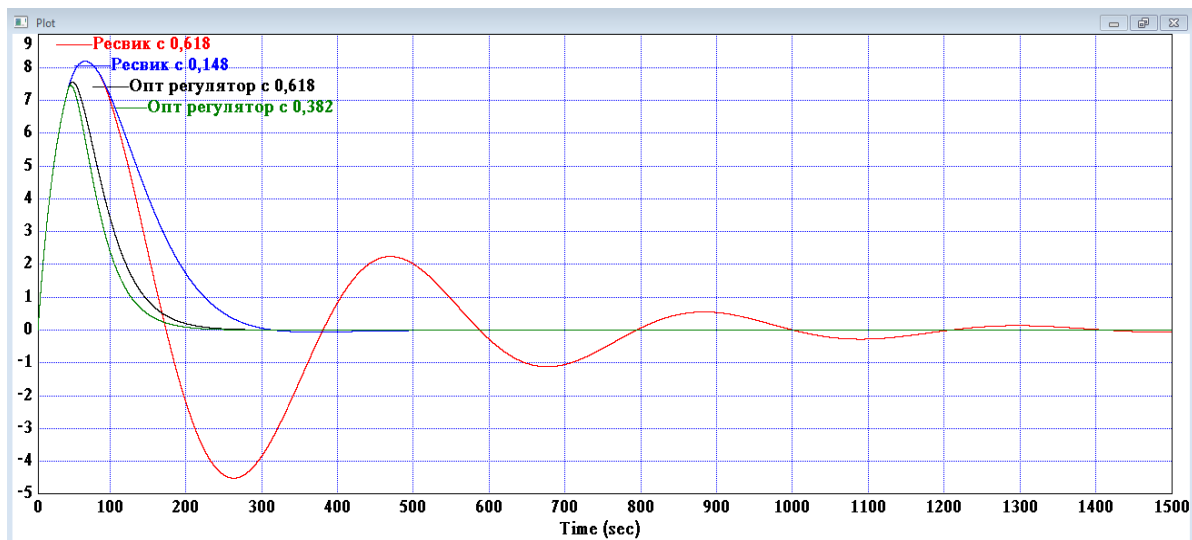
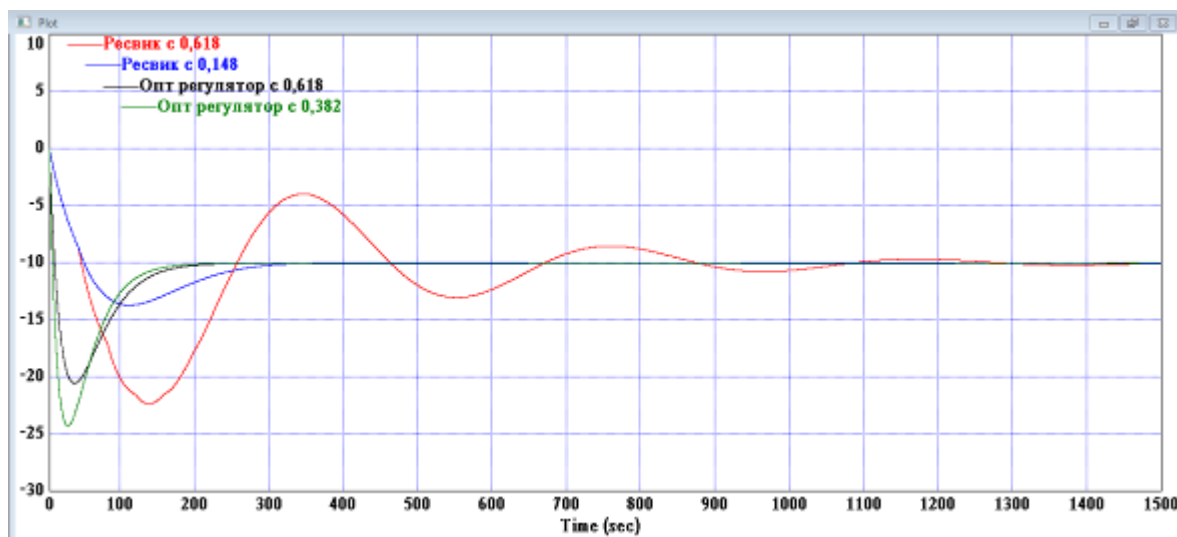


Рисунок 7 – График отработки крайнего внешнего возмущения  $f_2$

Рисунок 8 – График отработки регулирующего воздействия  $X_p$ 

Анализ прямых показателей качества по графикам переходных процессов для соответствующих возмущений:

Таблица 1 – Прямые показатели качества

Метод	$x_{зд}$			$f_1$			$f_2$			$x_p$
	$t_p$ , с	$\sigma$ , %	$\Psi$	$t_p$ , с	$A_1^+$	$\Psi$	$t_p$ , с	$A_1^+$	$\Psi$	
Ресвик с 0,618	1115	50,8	0,25	1212	0,44	0,77	1145	8,18	0,73	22,3
Ресвик с 0,148	230	-	1	662	0,45	1	276	8,18	1	13,75
Оптимальный регулятор с 0,618	137	-	1	581	0,32	1	200	7,54	1	20,58
Оптимальный регулятор с 0,382	107	-	1	520	0,3	1	175	7,43	1	24,25

### Выводы

При реализации обратной передаточной функции той части объекта, которая не содержит запаздывания, для физической реализуемости последней умножаем ее на передаточную функцию идеального интегрирующего звена, в результате чего получаем модифицированный регулятор Ресвика, который будем сравнивать с передаточной функцией оптимального регулятора, настраиваемого с учетом правила золотого сечения [1].

В результате в первой части модифицированного регулятора Ресвика получился ПИ регулятор. Так же можно сказать, что при настройке модифицированного регулятора  $\beta$  не может быть больше 1, так как появляется перерегулирование, процесс становится неустойчивым, а регулирующее воздействие при отработке внешнего возмущения увеличивается.

Для сравнения модифицированного регулятора Ресвика использован метод [1] с использованием оптимального регулятора с одним параметром динамической настройки  $T_{зд}$ , которое выбирается по правилу золотого сечения [1], приняв за целое запаздывание по каналу регулирующего воздействия. При уменьшении  $T_{зд}$  качество регулирования улучшается, но при этом регулирующее воздействие увеличивается.

В целом после сравнения двух видов регуляторов выяснилось, что оптимальный регулятор с численным коэффициентом 0,382 имеет быстродействие при отработке скачка задания примерно в 2 раза больше, чем модифицированный регулятор Ресвика, не имеет

перерегулирования и уменьшает максимальную динамическую ошибку регулирования при отработке внутреннего возмущения на 33 % и внешнего возмущения на 8 %.

Кроме того можно отметить, что  $T_{зд}$  для оптимального регулятора имеет неограниченный диапазон значений, в то время как  $\beta$  может выбираться только от 0 до 1.

#### Литература

1. Кулаков, Г.Т. Методика структурно-параметрической оптимизации каскадных систем автоматического регулирования, на основе модифицированного упредителя Смита / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, В.В. Кравченко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 2. – С. 40–45.

# СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

## ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. ПРИЛИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ.

Иванова О.А., Скицунова И.М.  
Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

### ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Логоненков Р.А.  
Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

### ВИХРЕВЫЕ КАВИТАЦИОННЫЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ

Бойко Е.Г.  
Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

### ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ AUTODESK REVIT В ПРОМЫШЛЕННУЮ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКУ

Ермоленко В.И.  
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

### ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛЬНОЗАВОДОВ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ С НИМИ ПОСЕЛКОВ

Чемерюков А.С., Бобич Н.А.  
Научный руководитель – д.т.н. профессор Романюк В.Н.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Мальков П.А.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

### ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ МАЗУТА И УГЛЯ

Давыдко М.И.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Доброго К.В.

### РАЗРАБОТКА РЕДАКТОРСКОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ, СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ПИКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕПЛА

Е.В. Богдан  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

### ИЗУЧЕНИЕ ПИ-ТРУБ

Бычек Е.О., Соколовский С.Л.  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Мигуцкий И.Е.

### SCADA – СИСТЕМЫ

Янчук В.В., Ксенович Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

### ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Хомец Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мигуцкий И.Е.

### ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПАНЕЛИ

Хомец Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Доброго К.В.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ГРС – ПРОБЛЕМА И СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ

Ковалёва К.И., Григорьев В.Г.

Научный руководитель – аспирант Бобич А.А., аспирант Левков К.Л.

### ПРОГРАММА ДЛЯ САПРА - CADSTD LITE

Черехович О.В., Олешко Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

### АНАЛИЗ РАБОТЫ КОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Лозко Е.И., Ремез М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачева Э.М.

### ГАЗИФИКАЦИЯ БИОМАССЫ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ

Чиканов С.И., Маковеев С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

### РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОНИЗИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА ГОРОДСКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ.

Власюк Д.И., Прокопенко И.В., Кузьмич К.Л.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Саленик И.И., Ефимова Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВОЙ МОЩНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ОАО «БПХО»

Скурат Д.С.

Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

### СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНЦЕРНА «ЛЕГПРОМ»

Муслина Д.Б.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Романюк В.Н.

**МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ИХ НА МЕСТНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА**

Семененя Г.А., Качанов В.В., Краско А.А.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

В.А. Грицук, А.А. Грицук  
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Н. Романюк

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**

Цухло Е.А., Байраш Е.А., Позднякова М.И.  
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ В AUTODESK REVIT MEP 2014**

Хатянович П.П., Романенко Р.С., Малоед А.С.  
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

**ЭНЕРГО – И ХЛАДОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА ХИМЗАВОДА**

Голубец Н.С.  
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ СУХОГО ЛЬДА**

Никифоров И.С., Воробьев В.И.  
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПИКОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ**

Воробьев В.И.  
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

**ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Мосевич С.В., Бушков П.Е.  
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Кулаков В.М.  
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

**ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

Шевчук И.В., Макаренко Д.С.  
Научный руководитель – старший преподаватель Бегляк А.В.

УДК 620.9

## **ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. ПРИЛИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ.**

Иванова О.А., Скицунова И.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

Рассматривается устройство и принцип работы приливной электростанции. Данное исследование позволяет оценить достоинства и причины малой распространенности приливных электростанций.

Приливная электростанция (ПЭС) – особый вид гидроэлектростанции, использующий энергию приливов, а фактически кинетическую энергию вращения Земли.

На параметр мощности станции влияют: сила и характер приливов, размер и количество закрытых бассейнов, число установленных гидротурбин и гидрогенераторов. Для увеличения проектной мощности приливной станции и временного периода, в течение которого происходит выработка электрической энергии, устанавливаются сразу несколько приливных бассейнов, но для этого требуются значительные финансовые инвестиции и большие затраты времени.

Преимуществами ПЭС является экологичность и низкая себестоимость производства энергии. К недостаткам традиционных приливных электростанций можно отнести их высокую стоимость. Она в 2,5 раза превышает стоимость гидроэлектростанций аналогичной мощности и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего ПЭС может работать только в единой энергосистеме с другими типами электростанций.

В последние годы приливная энергетика получила дальнейшее развитие. Она пополняется принципиально новыми типами приливных электростанций. Главным их отличием является отсутствие дорогой плотины. Вместо компактных турбин электрогенераторы приводятся в движение крупными лопастями диаметром от 10 до 20 метров.

Строительство ПЭС целесообразно на морских побережьях, рельеф которых позволяет возводить значительные по площади водозаборные бассейны, а также в заливах и устьях рек, где уровень приливных колебаний волны составляет не менее 4 м.

Использование ПЭС в Республике Беларусь невозможно из-за отсутствия выходов к морям и океанам. Тем не менее, гидроэнергетика представлена и в Беларуси русловыми гидроэлектростанциями.

Крупнейшая гидроэлектростанция Беларуси - Гродненская ГЭС на реке Неман. Установленная мощность станции 17 МВт.

В ближайшее время на реке Неман планируется строительство еще одной гидроэлектростанции – Немновской ГЭС мощностью 20 МВт.

УДК 620.9

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Логоненков Р.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

Одним из наиболее перспективных направлений в современной энергетике Республики Беларусь является развитие ветроэнергетики. Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются в 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии 2,4 млрд. кВт\*ч. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических станций и ветропарков. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где средняя скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок.

Ветроэнергетические установки обладают высоким коэффициентом полезного действия. Как показывает мировой опыт использования, он составил 50 – 90 %, что можно считать характеристикой системы вполне удовлетворительной.

В настоящее время в энергетическом секторе стан мира можно прогнозировать дальнейшее интенсивное развитие возобновляемых источников энергии. При этом их доля в энергетическом балансе будет постепенно увеличиваться, снижая тем самым потребление углеводородного топлива.

Гарантированная выработка утилизируемой энергии ветра с 7% территории Беларуси составит 14,65 млрд. кВт\*ч. Использование зон с повышенной активностью ветра гарантирует выработку энергии ВЭУ до 6,5 – 7,5 млрд. кВт\*ч с окупаемостью затрат в течение 5 – 7 лет.

Исходя из ветроэнергетического потенциала, только в Минской области насчитывается 1076 строительных площадок под размещение на каждой от 3 до 10 ВЭУ континентального базирования мощностью до 1000 кВт. Среднегодовая выработка только 10 % этих ВЭУ в статистическом распределении времени работы в номинальном режиме от 2500 до 3300 часов в год на срок эксплуатации установок составляет около 2676 млн. кВт\*ч. Соответственно среднегодовая экономия жидкого топлива составит более 800 тыс. тонн. Сроки окупаемости капитальных вложений в ветротехнику сопоставимы со сроками окупаемости малых гидроэлектростанций, парогазовых и газо-мазутных электростанций и значительно ниже данных сроков для угольных, атомных и дизельных электростанций.



УДК 536.3

## **ВИХРЕВЫЕ КАВИТАЦИОННЫЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ**

Бойко Е.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

В последнее время в качестве источника теплоснабжения широкое распространение получили вихревые кавитационные теплогенераторы.

Началом развития вихревых теплогенераторов стала вихревая труба Ранка. Исследования были продолжены немецким изобретателем Робертом Хилшем, он улучшил конструкцию вихревой трубы Ранка. Идея запустить в трубу Ранка жидкость, является идеей российского ученого Александра Меркулова.

Существует множество видов вихревых теплогенераторов. Принцип работы вихревых теплогенераторов основан на кавитации. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения.

В настоящее время вихревые теплогенераторы используются для нужд теплоснабжения жилых и промышленных зданий.

Изучение работы вихревого кавитационного теплогенератора проводилось на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета на базе вихревого теплогенератора ВТГ-2,2.

В результате изучения работы вихревых теплогенераторов можно сделать вывод, что данные теплогенераторы обладают рядом положительных качеств: компактность и исключительная простота устройства; взрыво- и пожаробезопасность; возможность работы с использованием неподготовленных жидкостей (технической воды); автономность работы в автоматическом режиме.

Кроме того, вихревые теплогенераторы обладают высоким коэффициентом полезного преобразования электрической формы движения материи в теплоту порядка 80-90 %.

УДК 004.42

## ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ AUTODESK REVIT В ПРОМЫШЛЕННУЮ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКУ

Ермоленко В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Autodesk Revit - программный продукт, основанный на технологии информационного моделирования зданий и объединяющий в рамках единого комплексного решения инструменты для архитектурного проектирования, проектирования инженерных систем зданий и строительных конструкций.

Программные решения Autodesk на платформе Revit приобретают всё большую и заслуженную популярность в промышленной теплоэнергетике, так как программа Autodesk Revit позволяет:

- рассчитать энергопотребление здания;
- определять нагрузки на системы отопления и охлаждения;
- трассировать системы в здании автоматически или вручную;
- автоматически подбирать сечения трубопроводов и вентканалов;
- определять расходы в системе и потери давления в сети;
- рассчитывать среднюю освещенность;
- рассчитывать нагрузки в электрической цепи с учетом коэффициента использования;
- определять потери напряжения в цепи.

Инструменты концептуального расчета энергопотребления поддерживают экологически рациональное проектирование и принятие проектных решений на ранних стадиях проектирования. Используя средства анализа, основанные на облаках точек, можно сравнивать прогнозируемый уровень энергопотребления и затраты на жизненный цикл альтернативных вариантов непосредственно в Revit Architecture. Результаты отображаются предельно наглядно, в подходящем для дальнейшего использования формате.

Autodesk Revit предлагает готовые решения и удобные инструменты для специалистов отопления, кондиционирования, вентиляции, электроснабжения, канализации и водоснабжения. Autodesk Revit позволяет проектировать и строить инженерные системы любой сложности.

В Autodesk Revit создан комплекс специальных возможностей для специалистов в сфере проектирования инженерных систем. Помимо всех вышеуказанных инструментов Autodesk Revit предоставляет такие функции, как создание пользовательских типоразмеров воздуховодов и трубопроводов и создание наклонных труб. Это в разы повышает производительность работы с системами трубопроводов.

УДК 629

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛЬНОЗАВОДОВ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ С НИМИ ПОСЕЛКОВ**

Чемерюков А.С., Бобич Н.А.

Научный руководитель – д.т.н. профессор Романюк В.Н.

К 2020 г. в мире прогнозируется резкий рост стоимости всех ресурсов, что придает большую актуальность разработке первоочередных мер по подготовке каждого предприятия в отдельности к грядущим изменениям на сырьевых и энергетических рынках.

Лен уже сегодня занимает важное место в хозяйственном комплексе Беларуси, однако его роль в будущем должна возрасти. Государство затрачивает большие инвестиции на модернизацию отрасли. Решены или решаются многие узкие места, связанные с его выращиванием, переработкой. Среди проблем, которые подлежат устранению на местах, находится сушка тресты, поступающей на переработку. Нерешенность проблемы приводит к потерям тресты в ходе хранения в тюках до переработки. Ситуация требует изменения в связи с чем ниже рассматривается возможный комплекс соответствующих мероприятий, связанный с модернизацией всей теплоэнергетической системы льнозаводов, которая обеспечивает и дальнейшее снижение себестоимости продукции.

Перевод котельных льнозаводов на использование льнокостры получил признание. Этот переход способствует требованиям энергетической безопасности страны. Котельные должны находиться на балансе льнозаводов. Прилегающие поселки и их коммунальные службы должны покупать тепловую энергию у льнопредприятий, а не наоборот. Это обеспечивает снижение затрат на энергообеспечение и снижение себестоимости продукции.

Снижение себестоимости продукции связано и с технологией приготовления сетевой воды, отпускаемыми котельной льнозавода. Необходимость сушки сырья перед тереблением для генерации сушильного агента обуславливает наличие парового теплоносителя невысокого давления (до 3 ата), который обеспечивает и нагрев сетевой воды. Сушка льнотресты производится перед тереблением в ленточных сушилах, предполагающих размотку тюков с сырьем. Это связывает производительность и работу сушилок с теребильными агрегатами, что и объясняет хранение сырья в недосушенном виде в тюках и, как неизбежное следствие, потери.

Сегодня имеется оборудование и все условия для котельных заводов по первичной переработке льна к комбинированному энергообеспечению, когда на базе теплотехнологических и отопительных нагрузок обеспечиваются собственные нужды в электроэнергии и снижается себестоимость продукции.

УДК 621.1; 62-637.8

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Мальков П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

Для поступательного и устойчивого развития экономики страны должна быть обеспечена надежная и эффективная энергетическая система, которая должна учитывать также и экологический аспект. В обозримом будущем в промышленности Республики Беларусь жизненно необходимы структурные перестройки, требующие существенных инвестиций, значительная часть которых должна быть направлена на более рациональное и эффективное использование тепловой энергии. Для этого нужно проанализировать современные технологии, направленные на снижение энергозатрат, и отдать предпочтение наиболее эффективным.

Одним из наиболее оптимальных решений вышеперечисленных вопросов является использование тепловых насосов. Необходимым условием для их применения является наличие источника низкопотенциальной теплоты. На данный момент в мире сформировалось два основных принципиальных направления в развитии тепловых насосов: парокомпрессионные тепловые насосы и сорбционные тепловые насосы.

Тепловые насосы позволяют переносить тепло от более холодного тела к более горячему посредством испарения и конденсации, использовать теплоту практически всех окружающих сред: воды, воздуха, грунта. Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3 – 5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу. Кроме того, в тепловых насосах используются экологически чистые технологии практически без выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Тепловые насосы малой мощности (до 100 кВт) получили широкое распространение в высокотехнологичных странах мира. Они компактны, надежны, экологичны, работают при низких температурах наружного воздуха зимой, а также способны осуществлять кондиционирование помещений в теплый период года.

Необходимо оценить перспективы применения тепловых насосов большой мощности (до 30 МВт и более) для модернизации и развития систем теплоснабжения. Их преимущества по сравнению с тепловыми насосами малой мощности заключаются в следующем:

- более низкие удельные капиталовложения (на 1 кВт тепловой мощности);
- меньшая занимаемая площадь по сравнению с большим количеством маломощных тепловых насосов;
- более высокие технико-экономические показатели отдельных элементов (например, изэнтропный КПД компрессора) и теплового насоса в целом.

В мире наиболее крупные парокомпрессионные тепловые насосы имеют тепловую мощность до 30 МВт с двухступенчатыми центробежными компрессорами. Для теплоснабжения Стокгольма (Швеция) построена и работает станция тепловых насосов с 6-ю агрегатами общей мощностью 180 МВт. В качестве источника теплоты используется морская вода, в зимний период температура, которой опускается до +2 – +4 °С. В Хельсинки (Финляндия) и Осло (Норвегия) работают тепловые насосы на сточных водах. В летний период они производят одновременно тепло для горячего водоснабжения и холод для кондиционирования крупных торговых и бизнес центров.

Реализация тепловых насосов большой мощности наиболее эффективна в крупных городах, где большие тепловые и холодильные нагрузки в течение длительного периода, где остро стоит проблема утилизации отходов, в том числе и тепловых, таких как сточные воды.

В качестве источников энергии для тепловых насосов могут быть использованы различные среды: морская и речная вода, грунт и грунтовые воды, сточные воды, обратная сетевая вода систем теплоснабжения, уходящие газы котлов и т.д.

В традиционной системе теплоснабжения температура воды в подающем трубопроводе теплового ввода составляет 150 °С, во вторичной сети 95 °С, а в сети ГВС 60-70 °С. Чем выше температура в подающем трубопроводе, тем большее количество тепловой энергии переносится к потребителям тепловой энергии меньшим количеством перекачиваемой воды на большие расстояния.

При сжигании ископаемого топлива в водогрейных котлах с температурой 1000 – 1500 °С вода нагревается до 100 – 150 °С, а эксергия топлива снижается в 10 раз.

В тепловых насосах реализуется идея перекачки теплоты от низкотемпературного источника, в пределе, соответствующем температурным параметрам окружающей среды. В этом случае разность температур источника и потребителя тепловой энергии будет минимальной.

В последние годы, достигнут большой прогресс в получении новых строительных материалов с повышенными теплоизоляционными свойствами, разработаны технологии утепления существующих зданий. Во многих странах пересматриваются нормы потерь теплоты от ограждений и оконных стекол в окружающую среду, соответственно, снижается требуемая температура теплового источника, например, при отоплении через пол температура подающей воды может составлять 40 – 45 °С, что выгодно для применения тепловых насосов.

В условиях Беларуси тепловые насосы являются дорогими и малодоступными из-за относительно высоких капитальных вложений. Это приводит к большим срокам окупаемости. В ближайшей перспективе цены на газ будут расти, и могут выйти на уровень, близкий к мировым ценам, что существенно повысит конкурентоспособность тепловых насосов.

Достоинство тепловых насосов заключается также в том, что они могут быть встроены и в существующие системы теплоснабжения. Крупные теплонасосные установки могут «перекачивать» теплоту от источника с температурой 0 – +15 °С до 70 – 90 °С.

Одноступенчатые тепловые насосы хорошо работают при нагреве рабочей среды до 60 °С, что ограничивается степенью повышения давления в ступени компрессора не более 7 – 12. Для обеспечения более высоких температур нагрева используются двухступенчатые или каскадные схемы теплонасосных установок. Переход к более сложным тепловым схемам позволяет повысить коэффициент трансформации тепла теплонасосных установок, но при этом возрастают капитальные затраты.

Таким образом, можно утверждать, что применение теплонасосных установок с использованием низкопотенциальной теплоты позволяет освоить доступные резервы энергии промышленных предприятий. Внедрение тепловых насосов ведет за собой благоприятные экологические последствия, связанные со снижением эмиссии продуктов сгорания топлива, а также снижение энергозависимости Республики Беларусь в целом.

### Литература

1. Bailer P., Pietrucha U. District heating and district cooling with large centrifugal chiller – heat pumps // Proc. 10<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling. 3-5 September 2006, Hanover, Germany. – 8 p.
2. Gabriellii C., Vamling L. Drop-in replacement of R22 in heat pumps used for district heating – influence of equipment and property limitations // International Journal of Refrigeration. – 2001. – Vol. 24. – P. 660-675.
3. Бурдуков А.П., Петин Ю.М. Технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями // Проблемы нетрадиционной энергетики. Материалы научной сессии Общего собрания Сибирского отделения СО РАН. – Новосибирск, 13 декабря 2005 г. – 11 с.

УДК 621.1.016:543.5

## ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ МАЗУТА И УГЛЯ

Давыдко М.И.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Доброго К.В.

Кроме традиционных твердых, жидких и газообразных топлив в последние годы повышенное внимание исследователей и инженеров–практиков привлекают смесевые дисперсионные топлива, произведенные на основе обводненных мазутов, некоторых видов органических отходов (например, лигнин), углей, биомассы. Использование таких топлив позволяет решать не только энергетические, но и экологические проблемы. Так, разделение по фазам мазут-вода в накопителях-отстойниках требует большого времени и малоэффективно из-за малой разности плотностей мазута и воды. Проблема утилизации или очистки отделенных вод не решается химическими и биологическими методами. Зачастую замазученные воды без должной степени очистки сливаются в общую канализацию.

Одним из возможных направлений решения этой задачи является использование замазученных вод при создании водотопливных эмульсий (ВТЭ). Соотношение фаз вода-топливо в эмульсии, в зависимости от поставленной задачи, может меняться в широких пределах. Наибольший экономический эффект и одновременно снижение экологически вредных газовых выбросов обеспечивает добавление в топливо 10 – 15% воды.

Кроме ВТЭ, интерес представляют и двухфазные дисперсии, например, водоугольные дисперсии, в состав которых могут входить жидкие углеводороды, поверхностно активные вещества и др. При придании такой дисперсии необходимых реологических и теплофизических свойств она может использоваться как альтернатива мазуту в традиционных энергетических установках. Особый интерес могут представлять топливные дисперсии, основанные на органических отходах, отличающиеся высокой экономической эффективностью и, кроме того, дающие экологический эффект.

Для научно-обоснованного применения данных технологий необходимо исследовать связь структурных, теплофизических характеристик альтернативных дисперсных топлив, дать рекомендации по их применению в энергетической сфере.

УДК 62-637.8

## РАЗРАБОТКА РЕДАКТОРСКОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ, СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ПИКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕПЛА

Е.В. Богдан

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

Горячее водоснабжение и система отопления — элементы инженерной системы любого здания. К настоящему времени, помимо традиционных систем тепло- и водоснабжения, активно применяется комбинированная генерация тепла с использованием тепловых насосов в паре с дополнительным генератором тепла (в этом случае основную нагрузку несет тепловой насос, дополнительный же генератор служит для покрытия пиковых нагрузок), солнечных панелей. Именно поэтому, как никогда, актуальным является поиск новых подходов и разработок с использованием прогрессивных технологий в области проектирования данных систем.

Проектирование систем отопления и горячего водоснабжения сталкивается с рядом проблем. В частности, одной из основных является кропотливая работа по выбору устанавливаемого оборудования и запорно-регулирующей арматуры. В связи с этим, целью работы явилось: создание редакторской программы, доступной и простой в использовании, в которой были бы рассмотрены основные схемы отопительных контуров и контуров циркуляции горячего водоснабжения (ГВС) с возможностью использования тепловых насосов, солнечных батарей, систем охлаждения, и т. д.

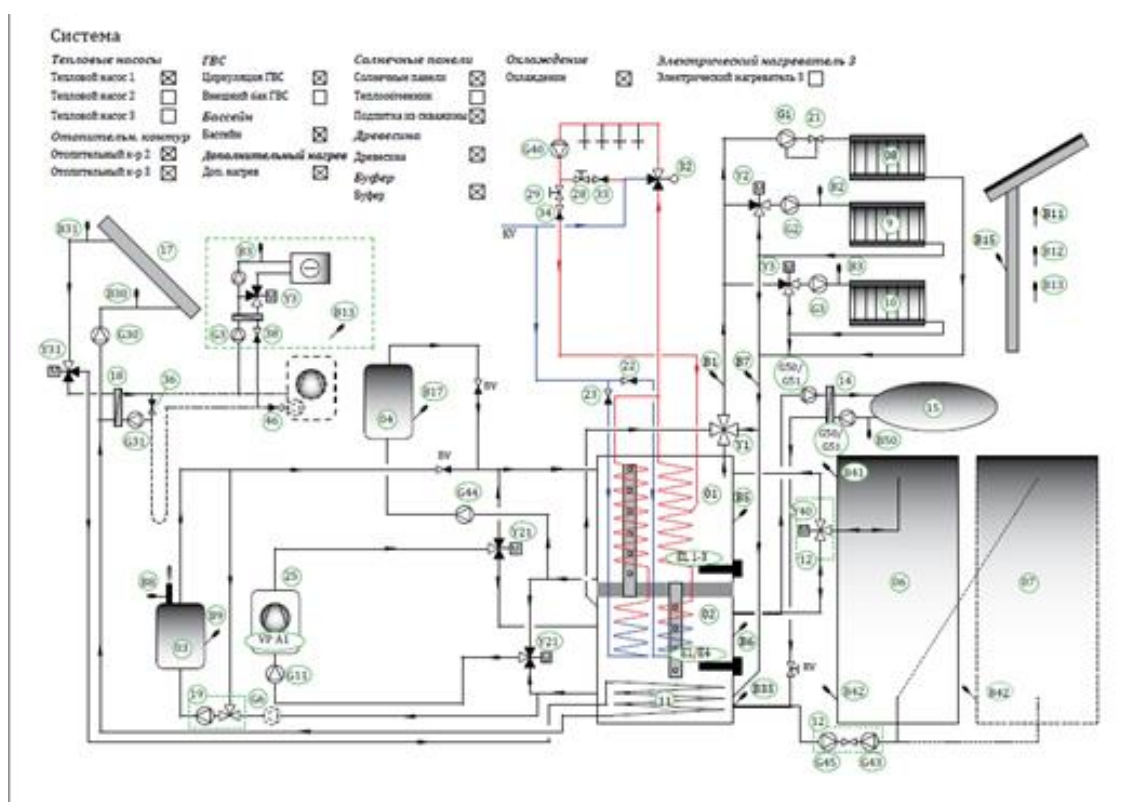


Рисунок 1 - Возможная схема системы отопления и водоснабжения с использованием теплового насоса, солнечных панелей и котла, работающего на древесине.

Программа дает возможность первоначального выбора примерной схемы установки основного необходимого оборудования — изначально выбран один потребитель, к нему

подведены трубы для подачи и отвода горячей воды. В зависимости от выбора первоначальная схема может сразу иметь в себе несколько отопительных контуров, контуров ГВС. Наряду с основным оборудованием, изображаются необходимые для его работы клапана, вентили, датчики, смесители и другая арматура.

Далее на первоначально выбранную схему может добавляться требуемое оборудование. Программа предоставляет возможность подключения до 10 тепловых насосов, установки котлов дополнительного нагрева, работающих на газу, бензине или древесине, солнечных панелей с возможным наличием скважинной подпитки до входа в основной рабочий контур. Как уже было отмечено, при выборе оборудования, соответствующая ему запорно-регулирующая арматура, необходимые датчики, дополнительные теплообменники отображаются автоматически.

01.	СТС EcoZenith i550 Pro верхний бак	34.	Обратный клапан, контур ГВС
02.	СТС EcoZenith i550 Pro нижний бак	35.	Обратный клапан, контур ГВС
03.	Твёрдотопливный котёл (древесина)	36.	Обратный клапан, контур рассола
04.	Внешний котёл (жидк. топливо, газ, эл-во и др.)	37.	Теплообменник с пассивной системой охлаждения (СТС EcoCom-fort)
05.	Пластинчатый теплообменник - контур солн. панели	38.	Обратный клапан сист. пассивного охлаждения
06.	Накопительный бак 1	39.	Трубопровод напольного охлажден./конвектор
07.	Накопительный бак 2	40.	Вентиляторный конвектор
08.	Радиатор отопления 1	41.	Обратный клапан для низкого перепада давления (только для пассивн. сист. охлаждения)
09.	Радиатор отопления 2	HP A1	Тепловой насос 1
10.	Радиатор отопления 3	HP A2	Тепловой насос 2
11.	Ребристый теплообм.-змеевик - контур солн. панели		
12.	Оборудование для подпитки - внешний бак		

Рисунок 2 Вид списка деталей

Каждый элемент принципиальной схемы имеет собственное цифробуквенное обозначение. Для удобства навигации по всем возможным вариантам установок в конце программы представлена таблица с обозначениями и названиями каждой позиции, которую можно выбрать для установки. На рис. 2 представлена часть этой таблицы.



УДК 536.242

**ИЗУЧЕНИЕ ПИ-ТРУБ**

Бычек Е.О., Соколовский С.Л.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мигуцкий И.Е.

Целью нашего проекта явилась экспериментальная проверка экономической целесообразности использования ПИ-труб в сетях горячего водоснабжения.



Для этого мы поставили перед собой следующие задачи:

1. Сравнить эффективность применения ПИ-труб в системе горячего водоснабжения с обычными трубами при различных температурах.
2. Изучить процесс передачи тепла от горячей воды, заполняющей трубу, к пеноизолирующему материалу.
3. Проверить экспериментально, установленную теоретическую зависимость.

Для решения поставленных задач нами была создана экспериментальная установка, представленная на рисунке 1,2.

Рисунок 1,2 - Экспериментальная установка.

Она состоит из двух одинаковых стальных труб внутренним диаметром  $d = 50$  мм., толщина стенок труб  $\delta = 3,5$  мм, длина труб  $l = 930$  мм. С одной стороны трубы наглухо закрывались и закреплялись на деревянной подставке. С другой стороны трубы герметично закрывались крышками.

Обе трубы заполняли горячей водой при температуре  $76^\circ\text{C}$ , закрывали и производили измерение температуры воды в трубах через одинаковые промежутки времени. Измерения производились при температуре окружающего воздуха  $20^\circ\text{C}$ . Для измерения температуры использовался электронный термометр с ценой деления  $0,1^\circ\text{C}$ . Результаты эксперимента сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

$\tau, \text{ч}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$t_{\text{ПИ-тр.}}^\circ\text{C}$	76	69	64	59	55	51	48	45
$t_{\text{л.}}^\circ\text{C}$	76	51	37	30	27	25	24	23

Анализируя полученные в ходе эксперимента результаты можно отметить следующее. Вода в ПИ-трубе остывает значительно дольше, чем в обычной трубе.

За первый час вода в ПИ-трубе остыла на  $5^{\circ}\text{C}$ , а в обычной трубе на  $25^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, тепловые потери в обычной трубе в 5 раз больше чем в ПИ-трубе.

Нами была создана экспериментальная установка для изучения ПИ-труб и сравнения их энергосберегающих характеристик с обычными трубами.

Чем выше температура воды в трубах, тем больший эффект энергосбережения делают ПИ-трубы.

В работе был проведен эксперимент по нагреванию пеноизолирующего материала и получена зависимость температуры материала от расстояния до оси трубы в различные моменты времени.

Проведена теоретическая проверка полученных зависимостей.

#### Литература

Савельев И.В. «Курс общей физики» Том 1: Механика. Молекулярная физика. – М.:Наука.

УДК 004.42

## SCADA – СИСТЕМЫ

Янчук В.В., Ксеневич Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition) является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

Все современные SCADA - системы включают три основных структурных компонента:

Remote Terminal Unit (RTU) – удаленный терминал, подключающийся непосредственно к контролируемому объекту и осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени.

Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS) – диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого (квази-) реального времени. Одна из основных функций – обеспечение человеко-машинного интерфейса (между человеком-оператором и системой).

System (CS) – коммуникационная система (каналы связи) между RTU и MTU. Она необходима для передачи данных с удаленных точек (RTU) на центральный интерфейс диспетчера и передачи сигналов управления обратно с MTU на RTU.

Были изучены возможности обмена данными с УСО (устройства связи с объектом, то есть с промышленными контроллерами и платами ввода/вывода) в реальном времени через драйверы; процесс обработки информации в реальном времени; возможности отображения информации на экране монитора в понятной для человека форме (HMI сокр. от англ. Human Machine Interface — человеко-машинный интерфейс); особенности ведения баз данных реального времени с технологической информацией; способы подготовки и генерирования отчетов о ходе технологического процесса; осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК; обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.).

Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.

УДК 620.9

## ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Хомец Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мигуцкий И.Е.

Геотермальная энергетика — направление энергетики, основанное на производстве электрической энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли, на геотермальных станциях. Относится к альтернативным источникам энергии, использующим возобновляемые энергетические ресурсы.

В вулканических районах циркулирующая вода перегревается выше температуры кипения на относительно небольших глубинах и по трещинам поднимается к поверхности, иногда проявляя себя в виде гейзеров. Доступ к подземным тёплым водам возможен при помощи глубинного бурения скважин.

Главным достоинством геотермальной энергии является её практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

Главная из проблем, которые возникают при использовании подземных термальных вод, заключается в необходимости возобновляемого цикла поступления (закачки) воды (обычно отработанной) в подземный водоносный горизонт. В термальных водах содержится большое количество солей различных токсичных металлов (например, бора, свинца, цинка, кадмия, мышьяка) и химических соединений (аммиака, фенолов), что исключает сброс этих вод в природные водные системы, расположенные на поверхности.

Наибольший интерес представляют высокотемпературные термальные воды или выходы пара, которые можно использовать для производства электроэнергии и теплоснабжения.

Потенциальная суммарная рабочая мощность геотермальных электростанций в мире уступает большинству станций на иных возобновимых источниках энергии. Однако направление получило развитие в силу высокой энергетической плотности в отдельных заселённых географических районах, в которых отсутствуют или относительно дороги горючие полезные ископаемые, а также благодаря правительственным программам.

### Применения и технологии

По способу применения геотермальной энергии различают следующие три категории:

Прямое использование;

Производство электроэнергии;

Тепловые насосы.

### Прямое использование

В настоящее время способы прямого использования включают отопление зданий, парниковое садоводство, а также промышленные процессы, такие как пастеризация.

В современных системах прямого использования в геотермальный резервуар бурится скважина, чтобы обеспечить постоянный поток горячей воды. Если геотермальная скважина не является артезианской, необходимо использовать забойный насос. Насос может поднять жидкость на поверхность, а также предотвратить выброс вредных веществ.

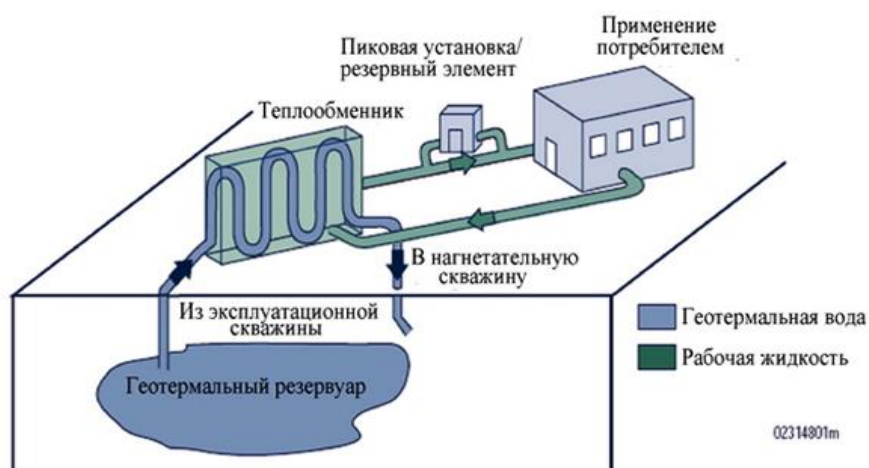


Рисунок 1- Прямое использование геотермальной энергии

Жидкая вода, пар или двухфазная смесь транспортируется к поверхности земли с помощью специальных жаростойких труб. Геотермальная система состоит либо из однотрубной, либо из двухтрубной системы. В зависимости от того, какая система используется, охлажденная вода либо закачивается обратно в землю, либо распределяется в других местах на поверхности Земли. В предыдущем типе системы, проточной системе водоснабжения, жидкость утилизируется после ее использования. В двухтрубной системе жидкость рециркулирует и сохраняет остаточное тепло. Однотрубные системы предпочтительнее, когда нет недостатка в геотермальной энергии и чистой воде, а двухтрубные системы используются в том случае, когда охлажденную жидкость необходимо обратно закачать в резервуар. В теплообменнике геотермальное тепло передается от геотермальной жидкости к рабочей жидкости. Основные теплообменники, используемые в геотермальных системах – пластинчатый, кожухотрубный и скважинный. Теплоизоляция необходима для транспортирующих труб с целью минимизации тепловых потерь и устранения влаги, которая может уничтожить саму теплоизоляцию и вызвать коррозию.

#### Выработка электроэнергии

Производство геотермальной электроэнергии основывается на той же концепции, что и производство электроэнергии из ископаемого топлива, однако используемой энергией является пар из земной коры. Существует три типа геотермальных энергетических технологий:

- Сухой пар
- Мгновенный пар
- Двойной цикл

Электростанции, использующие мгновенный пар, являются наиболее распространенным способом получения геотермальной электроэнергии. Они используют очень горячую воду под давлением (выше 180°C), которая течет вверх через скважины, часто с помощью насосов. Так как горячая вода поднимается, ее давление падает, и часть воды закипает (или «мгновенно исчезает») и превращается в пар. Пар используется для приведения в действие турбины. Остатки воды и конденсированного пара обратно закачиваются в резервуар.

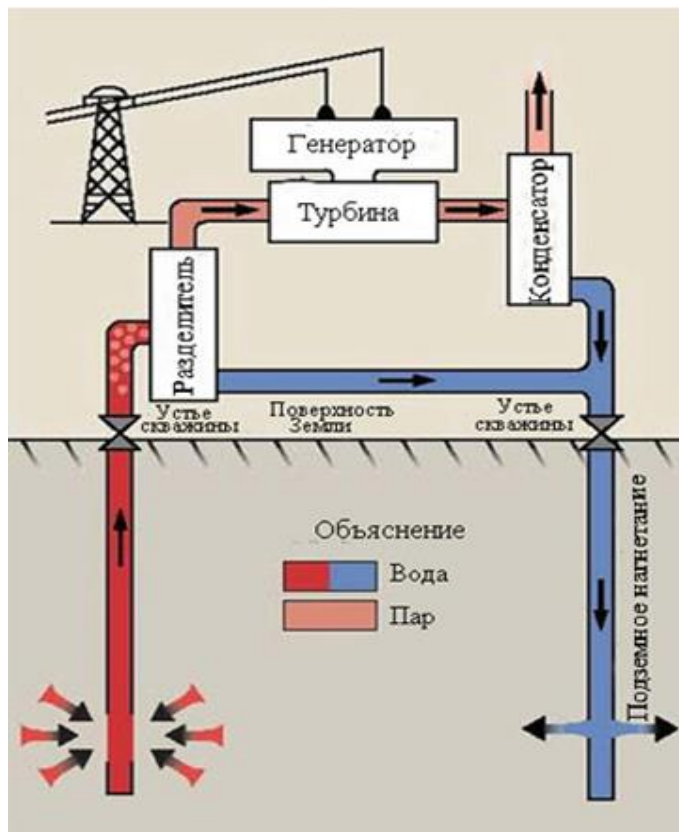


Рисунок 2 - Тип Электростанции, использующей мгновенный пар.

Сухой пар для производства геотермальной электроэнергии используется реже, потому что его тяжело найти, знания о его местонахождении также ограничены.

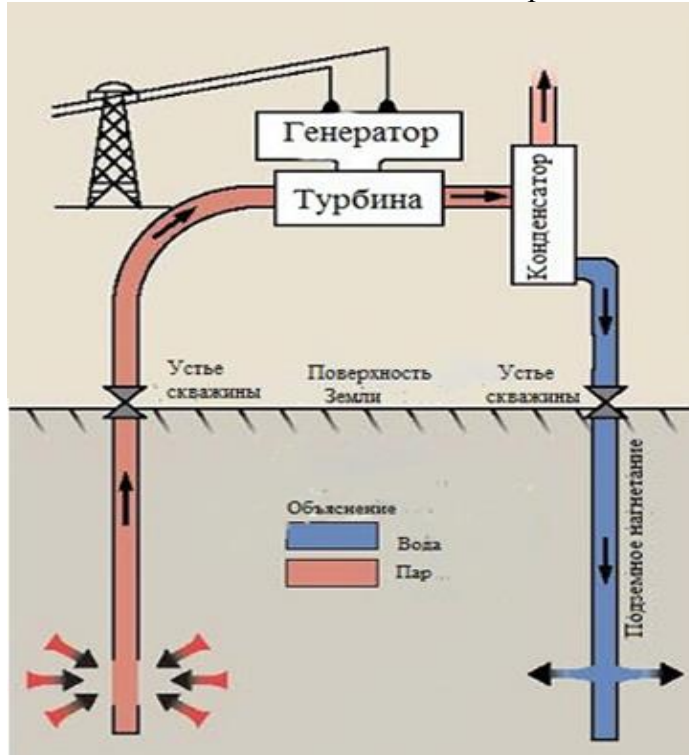


Рисунок 3 - Тип Электростанции, использующей сухой пар.

Электростанции двойного цикла используют более холодные геотермальные резервуары, чем электростанции, работающие на мгновенном и сухом паре. В качестве рабочей среды выступает жидкость, которая приводит в действие турбины вместо

геотермальной воды или пара. Эти электростанции используют тепло от горячей воды, чтобы довести эту жидкость до кипения, выпаривая ее в теплообменнике и используя для работы турбины. Вторичная жидкость испаряется, полученный пар вращает турбины, которые передают энергию вращения на вал генератора. Оставшаяся вторичная жидкость просто рециркулирует через теплообменник. Геотермальная жидкость конденсируется и возвращается в резервуар. Охлажденная вода закачивается обратно в землю для подогревания. Так как горячая вода (которая обычно содержит растворенные соли и минералы) никогда не попадает в атмосферу до закачивания обратно в резервуар, этот тип геотермальной электростанции имеет превосходные экологические характеристики по сравнению с другими.

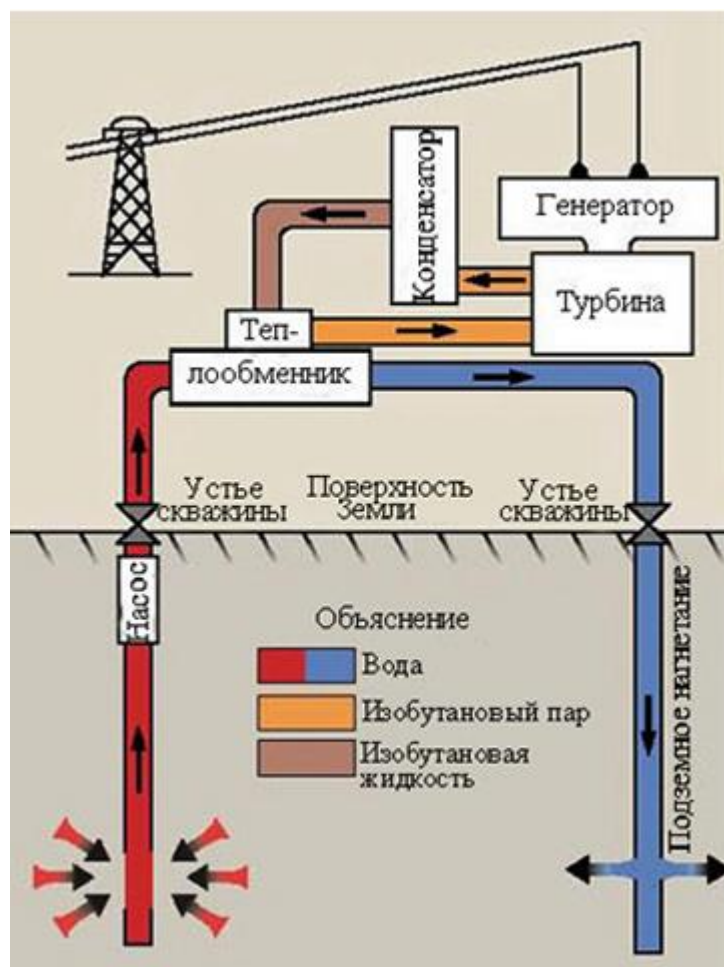


Рисунок 4 - Тип Электростанции, работающей на двойном цикле.

#### Тепловые насосы

Геотермальные тепловые насосы иногда включают в список геотермальных энергетических технологий. В то время как они обеспечивают эффективный обогрев и охлаждение зданий, строго говоря, они сами по себе являются приборами, потребляющими электроэнергию, и работают благодаря перемещаемому, а не вырабатываемому теплу. Тепловые насосы могут сократить потребление энергии здания от 30 до 50 процентов (по сравнению с обычными электрическими системами отопления и охлаждения), и отдают в три-четыре раза больше энергии, чем потребляют.

#### Проблемы

Геотермальные электростанции поднимают вопросы о геотермальной энергии. Один из таких вопросов - провалы земли при изначальном заборе воды или пара. Это может быть серьезной проблемой. На Ваиракеи после начала работы станции земля опустилась на 13 м.

Эта проблема на Ваиракеи существует до сих пор. На новых станциях вода быстро возвращается, чтобы сохранять давление и уровень подземных вод.

На геотермальных электростанциях двойного цикла эмиссии каких-либо газов не происходит. Однако паровые электростанции выбрасывают небольшое количество  $\text{CO}_2$ , объем выбросов зависит от состава воды. Выбрасывается также небольшое количество сульфида водорода, недостаточное для образования кислотного дождя. Так как подземные воды содержат растворенную серу, то работа станции сопровождается неприятным для нас запахом. В США геотермальные электростанции должны отфильтровывать сульфид водорода в выбросах, сжигая его или преобразуя в диоксид серы. Диоксид серы впоследствии можно растворить или превратить в серную кислоту и продать.



УДК 536.2

## ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПАНЕЛИ

Хомец Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Доброго К.В.

Имеется большое количество технологических процессов, требующих для своего проведения контролируемого нагрева. К ним относится ряд процессов полимеризация, формования термопластов, формование железобетонных конструкций и деталей, сушки, поддержания температуры технических трубопроводов и т.д. Такой нагрев может осуществляться с использованием теплоносителей (вода, пар, газы) или электрических нагревательных элементов. Постоянный поиск новых технически и экономически эффективных решений приводит к тому, что предлагаются и апробируются нагревательные панели с новыми конфигурациями, разборные и модульные конструкции нагревательных панелей, позволяющие оперативно перемещать и модернизировать производства. В русле общемировой тенденции повышения использования электрической энергии в технологических процессах развиваются и отечественные технологии. Очевидно, что данная тенденция усилится с введением в эксплуатацию новых электрогенерирующих мощностей, в частности Белорусской АЭС.

Важнейшим параметром, во многом обеспечивающим качество продукции, является температурная однородность поля нагрева или равномерность теплового потока от нагревателя. Достичь оптимального качества нагрева при малой материалоемкости, массе, конструктивной простоте и минимальной стоимости оборудования невозможно без детального моделирования системы с учетом свойств материалов и основных процессов тепло- и массообмена.

Данная работа посвящена моделированию работы модуля технологической нагревательной панели. Целью исследования является определение зависимости целевого параметра – неравномерности теплового потока по площади поверхности нагревателя от основных геометрических и конструкционных характеристик нагревательной панели. Такими параметрами являются толщина металлического листа поверхности панели, объем воздушной полости, содержащей ТЭН, форм- фактор ТЭНа – длина при фиксированной мощности нагрева, толщина теплоизоляционного слоя и другие.

Проводимые исследования позволят дать рекомендации по оптимальной конструкции нагревательной панели, целенаправленно изменять параметры нагрева, оценивать изменения тепловых процессов и качества продукции при изменении внешних условий и мощности нагрева.

### **Физическая постановка задачи**

Нами рассматривается модуль нагревательной панели, представляющий из себя металлический короб с теплоизолированным дном, с вмонтированным внутри электронагревательным элементом, рис.1.

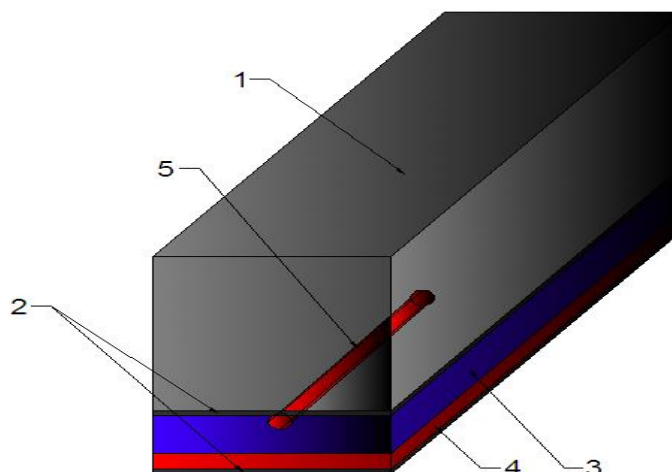


Рисунок 1 - модуль нагревательной панели  
1-Нагреваемый материал, 2-Металлические пластины,  
3-воздушная полость, 4-тепловая изоляция, 5-ТЭН.

Конструкция модуля выполнена таким образом, чтобы минимизировать стоимость его изготовления. Размер модуля выбирается из соображений универсальности его применения в технологическом процессе. Предполагается, что из моделей может собираться нагревательная панель любых необходимых размеров. Поэтому модуль считается симметричным элементом конструкции, что обуславливает наложение граничных условий симметрии на его боковых границах (условие отсутствия тепловых потоков). Модуль изготовлен из дешевых конструкционных сортов стали.

Теплоизоляционный слой изготовлен из листового керамоволокнистого теплоизоляционного материала (каолиновая вата, базальтоволокнистая плита, и т.п.)

Основным требованием к работе нагревателя является равномерность поля нагрева и соответственно температурного поля в нагреваемом материале. Таким образом, основным параметром, представляющим интерес для анализа является параметр неоднородности температурного поля. Таким параметром, прежде всего, является величина относительной температурной неоднородности на поверхности нагрева в характерные моменты времени или в стационарном установившемся состоянии.

$$\delta = (T_{\max} - T_{\min}) / T_{\min}, \quad (1)$$

где  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  - максимальная и минимальная температура поверхности нагревательной панели в заданные моменты времени.

Характерным временем контроля температурного поля является оценка времени прохождения тепловой волны через нагреваемый материал.

$$\tau_0 = l^2 / \kappa \quad (2)$$

где  $l$  – толщина слоя нагреваемого материала,

$\kappa$  – коэффициент теплопроводности нагреваемого материала.

Ставится задача исследования параметра неоднородности  $\delta$  как функции ряда конструктивных и технических параметров нагревателя: толщина лицевого листа металла панели, промежутка воздушного зазора короба, форм- фактора нагревательного элемента, толщины теплоизоляционного слоя, пространственной ориентации панели и других

#### Математическая постановка задачи

В основу математической задачи положены уравнения теплопроводности в твердых однородных веществах (закон Фурье).

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot \partial t / \partial n \quad (3)$$

Конвекция в полости нагревателя рассчитывается по уравнениям Навье-Стокса для несжимаемого неизотермического газа в приближении Буссинеску.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} &= - \frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} - \beta T \vec{g} \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T &= \chi \Delta T \\ \operatorname{div} \vec{v} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

В качестве граничных условий, задаемся температурой ТЭНа (800К).

Для моделирования могут быть использованы стандартные пакеты программ такие как: Abinit ; ANSYS ; CRYSTAL ; OpenFOAM .

Нами используется COMSOL Multiphysics потому, что он позволяет моделировать практически все физические процессы, которые описываются частными дифференциальными уравнениями. Программа содержит различные решатели, которые помогут быстро справиться даже с самыми сложными задачами, а простая структура приложения обеспечивает простоту и гибкость использования. Решение любой задачи базируется на численном решении уравнений в частных производных методом конечных элементов. Спектр задач, которые поддаются моделированию в программе, чрезвычайно широк. Набор специальных модулей в программе охватывает практически все сферы приложений уравнений в частных производных.

#### Результаты моделирования

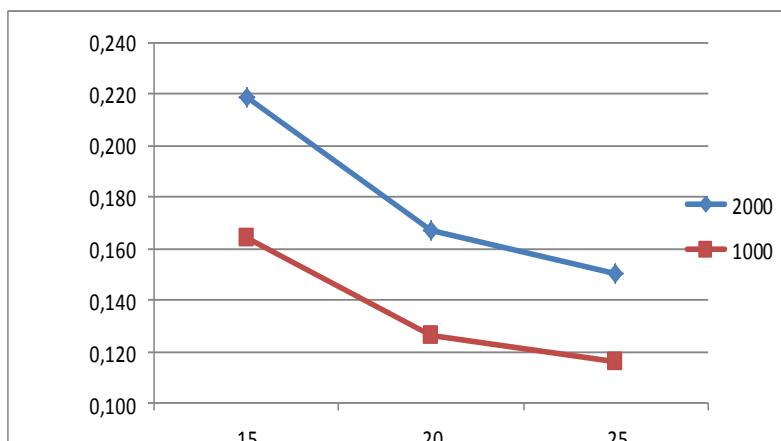


Рисунок 2 График зависимости температурной неоднородности от толщины воздушной прослойки

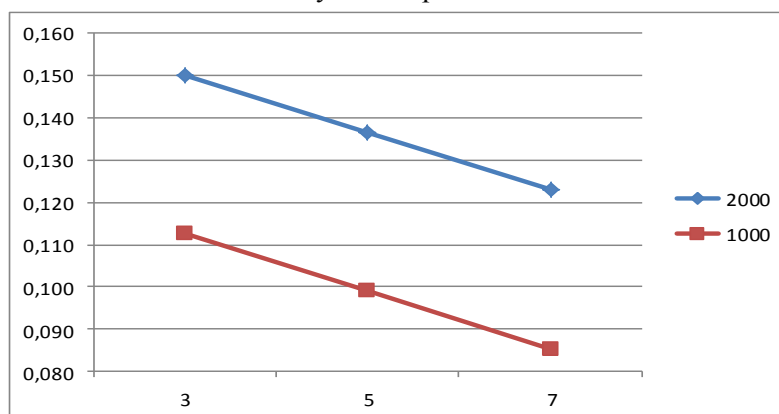


Рисунок 3 График зависимости температурной неоднородности от толщины металлических пластин

В ходе моделирования получили следующие зависимости, характеризующие зависимость распределения температуры от различных физических и геометрических параметров

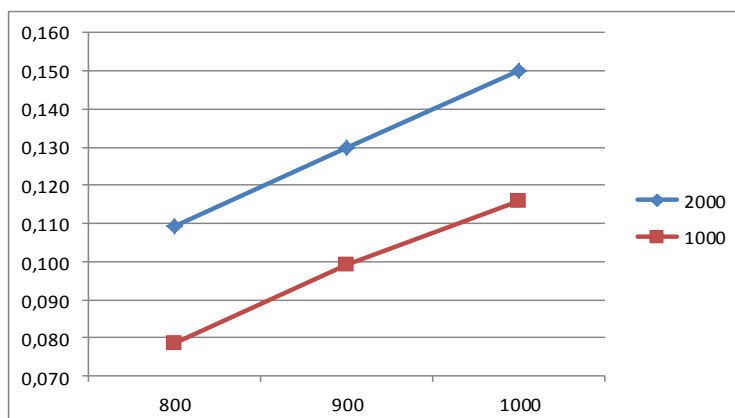


Рисунок 4 - график зависимости температурной неоднородности от температуры ТЭНа

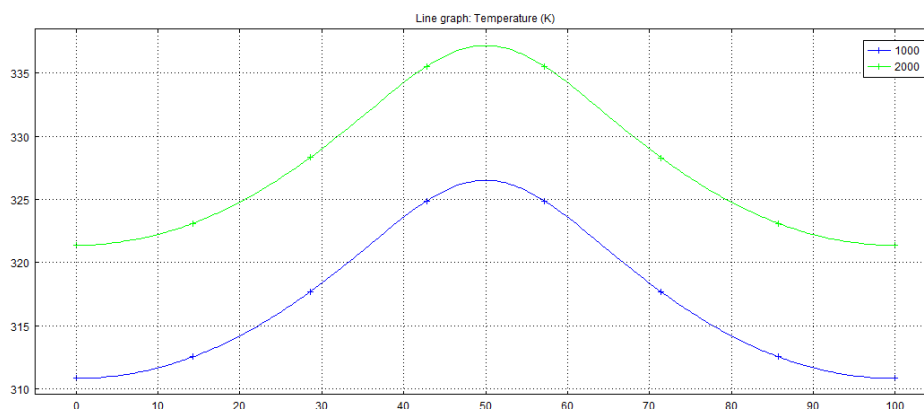


Рисунок 5 – распределение температуры при 1-м исполнении ТЭНа

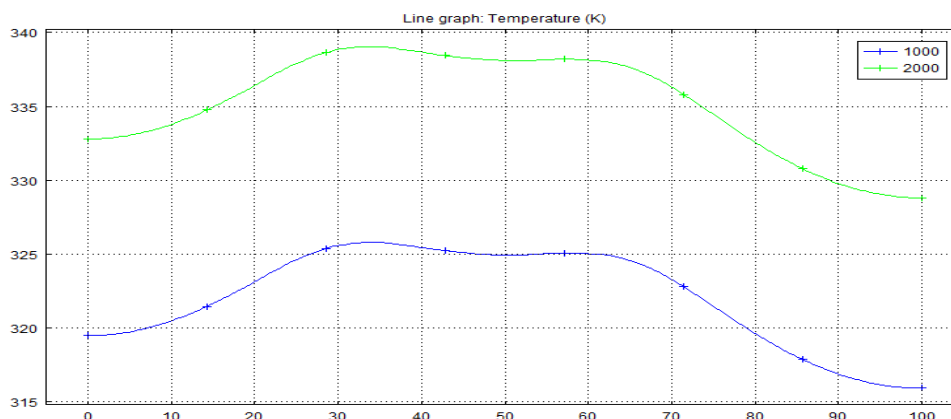


Рисунок 6 – распределение температуры при 2-м исполнении ТЭНа

Т.О. проведенные исследования позволяют определить оптимальную конструкцию нагревательной панели.

Показано, что при увеличении геометрических размеров снижается температурная неоднородность. Вариации исполнения ТЭНа влияют на равномерность распределения теплового потока.

#### Литература

1. Навье - Стокс, Буссинеск, программы, Comsol
2. Б.Н.Юдаев Техническая термодинамика и теплопередача М. Высшая школа 1988

УДК 620.9

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ГРС – ПРОБЛЕМА И СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ

Ковалёва К.И., Григорьев В.Г.

Научный руководитель – аспирант Бобич А.А., аспирант Левков К.Л.

Транспортировка природного газа (ПГ) по магистральным газопроводам осуществляется при высоких давлениях от 0,6 до 5,0 МПа. Перед подачей потребителям, давление ПГ на газораспределительной станции (ГРС) снижается до требуемого, которое, например, для котлов составляет порядка 10 кПа. При понижении давления в ГРС, энергия сжатого ПГ безвозвратно теряется. Следовательно, стоит вопрос относительно утилизации энергии избыточного давления ПГ, которая в настоящее время практически не используется. Связано это с отсутствием технологий, позволяющих грамотно использовать энергию избыточного давления ПГ. Однако в связи с созданием нового оборудования, например, турбосферы, позволяющей генерировать электрическую энергию, появляется возможность модернизации существующих производств, с целью повышения их энергетической и экономической эффективности. Единичная электрическая мощность установки будет находиться в диапазоне от 5 кВт до 0,5 МВт в зависимости от расхода, давления природного газа до и после ГРС.

Из изложенного следует, что на ГРС возможно получить электроэнергию на собственные нужды ГРС без сжигания топлива путем редуцирования (дросселирования) потоков адиабатным расширением с выработкой электроэнергии в УГТ. Следует отметить, что при адиабатном расширении потока ПГ, его температура снижается. Следовательно, в УГТ ПГ должен быть подогрет, для повышения мощности турбины и для предотвращения выпадения из него газогидратов (капелек жидкости), которые негативно влияют на лопатки турбины. Подогрев ПГ может быть обеспечен водогрейными котлами, установленными на ГРС или за счет электроэнергии, получаемой в УГТ. Проведенные расчеты показали, что теплота, требуемая для подогрева ПГ равна теплоте, которую возможно получить из электроэнергии, выработанной в УГТ. Поскольку тариф на электроэнергию в  $\approx 4$  раза выше, чем на природный газ, то целесообразно подогревать ПГ перед УГТ в существующих водогрейных котлах, а электроэнергию использовать для собственных нужд ГРС.

В предложенном варианте ГРС, в УГТ максимально используется энергия газа высокого давления. За счет чего, достигается годовая системная экономия условного топлива до 1,5 тонн (0,4 тыс. USD) на 1 кВт установленной электрической мощностью УГТ. При удельной стоимости в 1,5 тыс. USD за 1 кВт простой срок окупаемости не превышает 4 лет.

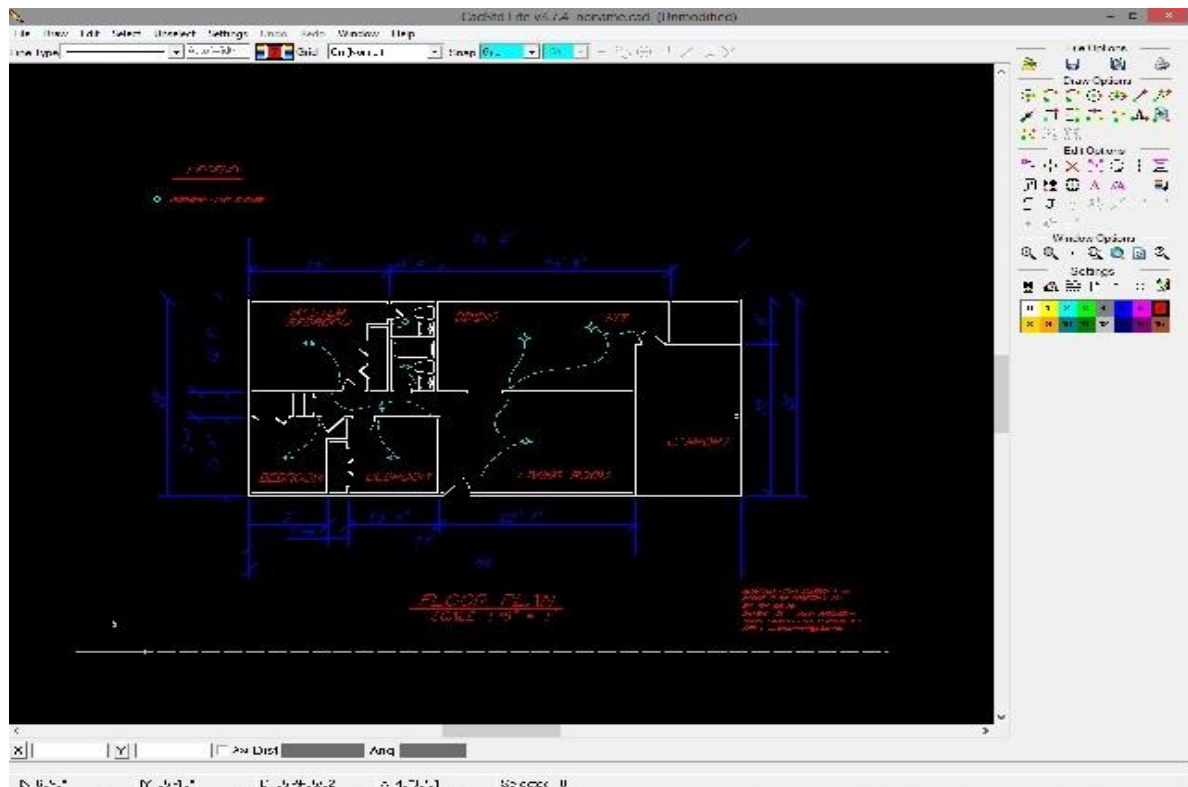
УДК 621

**ПРОГРАММА ДЛЯ САПРА - CADSTD LITE**

Черехович О.В., Олешко Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

CadStd Lite бесплатный специализированный графический редактор для создания проектов в области машиностроения, строительства, а также чертежей, схем и диаграмм. CadStd Lite - представляет собой простое средство автоматизированного программирования, предназначенное для создания двухмерных чертежей. CADStd Lite позволяет экспортировать готовые чертежи в формат DXF или использовать буфер обмена, для передачи изображений в Office и другие приложения. CADStd Lite позволяет создавать простые архитектурные проекты, проекты схем, механизмов и т.п. В распоряжении пользователя имеются основные инструменты для создания: геометрических фигур, линий, кривых и т.д. Созданные объекты можно поворачивать, отображать зеркально, обрезать, упрощать и масштабировать. CadStd Lite позволяет экспортировать проекты в форматы HPGL/1 (Hewlett Packard Graphic Language) и DXF (используемый программой AutoCAD). В программе используется собственный формат файлов.



УДК 621.577

## АНАЛИЗ РАБОТЫ КОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Лозко Е.И., Ремез М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачева Э.М.

Одним из реальных путей использования низкопотенциальной энергии является применение трансформаторов теплоты, так называемых тепловых насосов. Чаще всего теплонасосная система предназначена для использования теплоты, отводимой от окружающей среды или другого низкопотенциального источника (отработавшего пара, воды, газа), для технологического или бытового теплоснабжения.

Отопительная нагрузка имеет сезонный характер и требует переменный потенциал теплоты, следовательно, является в принципе неблагоприятной нагрузкой для тепловых насосов. При обычно применяемом качественном методе регулирования тепловой нагрузки потенциал тепла растет по мере ее увеличения. Поэтому при максимальной отопительной нагрузке теплонасосная установка должна не только трансформировать максимальное количество теплоты, но и работать в максимальном интервале температур между теплоотдатчиком и теплоносителем, подаваемом в систему отопления. Этот недостаток может быть в некоторой степени скомпенсирован использованием установки в летнее время для кондиционирования воздуха. Кроме того, возможны следующие методы регулирования производительности теплонасосных установок (ТНУ): изменение количества одновременно работающих агрегатов, если их несколько (в крупных системах); изменение производительности компрессора, чаще всего изменением частоты вращения; изменением расхода рабочего агента в установке. Последний метод наиболее прост и чаще применяется на практике.

При постоянном эквиваленте расхода низкопотенциального теплоносителя  $W_{нп}$  и сетевой воды  $W_{в}$  в ТНУ, а также постоянной температуре этих сред на входе в испаритель  $t_{и1}$  и конденсатор  $t_{к2}$ , закрытие дроссельного вентиля приводит к следующей перестройке режима работы установки:

снижается давление в испарителе  $p_0$  и конденсаторе  $p_k$ , а значит температура испарения  $t_0$  и конденсации  $t_k$  рабочего агента в соответствующих аппаратах;

уменьшается коэффициент подачи  $\lambda$  поршневого компрессора, а значит его внутренний относительный КПД;

снижается объемная подача компрессора;

повышается температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из испарителя  $t_{и2}$  и снижается температура сетевой воды на выходе из конденсатора  $t_{к1}$ ;

уменьшается тепловая нагрузка испарителя  $Q_0$  и конденсатора  $Q_k$ ;

понижается коэффициент преобразования энергии (отопительный коэффициент)  $\mu$ .

Предложенная методика может быть использована для расчетов и анализа режимов работы ТНУ, применяемых в отопительных системах.

УДК 662.747

## ГАЗИФИКАЦИЯ БИОМАССЫ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ

Чиканов С.И., Маковеев С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Применение парогазовых установок для современной энергетики – наиболее эффективное средство значительного повышения тепловой и общей экономичности электростанций на органическом топливе. В то же время наиболее значительным источником возобновляемой энергии является, и будет оставаться биомасса. Непосредственное применение биомассы в парогазовых системах, в газовых двигателях в частности, проблематично. Поэтому достаточно перспективной может стать ее газификация. Газификация – высокотемпературный процесс взаимодействия углерода топлива с окислителями, проводимый с целью получения горючих газов ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ). На практике часто бывает необходимо определить, не прибегая к эксперименту, состав газа при разных температурах, давлении и составе дутья. Эту задачу можно решить путем расчета равновесия системы. Для нахождения состава газа, содержащего пять основных компонентов ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  и  $H_2O$ ), являющихся неизвестными, требуется пять независимых уравнений. К ним относятся уравнения констант равновесия (1) - (3), закон Дальтона (4) и уравнение (5) баланса водорода и кислорода в дутье и в продуктах реакций:

$$K_1 = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}}; \quad K_2 = \frac{P_{CH_4}}{P_{H_2}^2}; \quad K_3 = \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}} \quad (1)-(3)$$

$$P = P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{CH_4} + P_{H_2O} \quad (4)$$

$$\frac{P'_{H_2O}}{P'_{H_2O} + 2P'_{O_2}} = \frac{P_{H_2} + 2P_{CH_4} + P_{H_2O}}{P_{CO} + 2P_{CO_2} + P_{H_2O}} \quad (5)$$

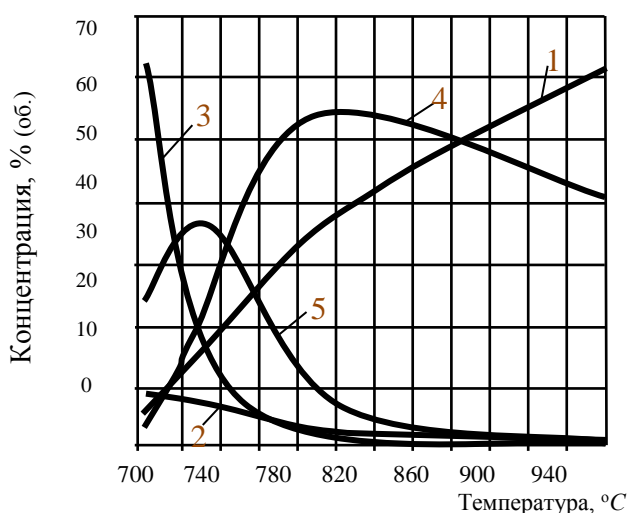


Рисунок 1 – Зависимость равновесного состава продукта паровой газификации биомассы от температуры  
1 –  $H_2$ ; 2 –  $CO$ ; 3 –  $CO_2$ ; 4 –  $CH_4$ ; 5 –  $H_2O$

Решение системы уравнений (1)-(5) позволяет найти искомые неизвестные при различных температурах, давлениях и составах дутья. На рисунке 1 приведены расчетные данные, полученные по описанной методике и иллюстрирующие влияние температуры паровой газификации биомассы (влажной древесины) на равновесный состав получаемого газа. Видно, что при увеличении температуры уменьшаются концентрации оксида и диоксида углерода, а также водяного пара при соответствующем возрастании содержания водорода и метана. Содержание оксида углерода практически не зависит от температуры. В области температур выше  $950\text{ }^\circ\text{C}$  суммарное количество  $CO$ ,  $CO_2$  и

$H_2O$  не превышает 5% (об.) и равновесная смесь состоит практически лишь из  $H_2$  и  $CH_4$  в соотношении, близком к 2:1. Приведенные данные по составам газов могут быть получены лишь в условиях термодинамического равновесия. В реальных условиях газификации равновесное состояние, как правило, не достигается, поэтому концентрации  $CO$ ,  $H_2$  и  $CH_4$ , а также степень разложения водяного пара всегда ниже равновесных.



УДК 621.31

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПониЗИТЕльНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА ГОРОДСКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ.

Власюк Д.И., Прокопенко И.В., Кузьмич К.Л.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Работу ПНС принципиально можно разделить на два основных режима: номинальный и аварийный.

В номинальном режиме при наличии системы автоматизации должны реализовываться следующие задачи:

1. Поддержание давления в заданном диапазоне. Есть два разных способа поддержания давления.

2. Ротация насосных агрегатов, т.е. попеременная работа насосов с целью выравнивания моточасов. Или в случае отказа от такого способа выравнивания моточасов: проверка насосов, которые долгое время не были в работе.

3. Возможность работы ПНС в различных режимах, (в зависимости от зимне-летнего периода, праздничные-рабочие дни).

4. Возможность переключения ПНС в режим ручного управления.

5. Выполнение плавного пуска насосов во избежание гидравлических ударов.

6. Защита от сухого хода насоса.

Теперь рассмотрим основные задачи при аварийном режиме:

1. Включение аварийного насоса.

2. Отключение насосов при снижении давления в подающей магистрали (или на входе в ПНС) ниже заданного уровня.

3. Отключение насосов при снижении питающего напряжения и повторное включение насосов, когда напряжение снова восстановится.

4. Защита от перегрузок по току.

5. Защита от перекоса фаз.

6. Защита от перегрева двигателя.

7. Защита от КЗ.

8. Отключение насосной станции при затоплении машзала.

9. Наличие сигнализации несанкционированного проникновения.

10. Выполнение функции рассечки тепловой сети на гидравлически независимые зоны.

11. Подпитка и поддержание заданного давления в статическом режиме в отключенной от источника тепла зоне, в случае, если подпиточные насосы предусмотрены.

12. Автоматическое восстановление работоспособности системы при восстановлении давления на входе или выходе из ПНС.

УДК 621

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Саленик И.И., Ефимова Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Рубеж конца XX – начала XXI веков, связанный с бурным развитием информационных технологий, ознаменовался появлением принципиально нового подхода в архитектурно-строительном проектировании, заключающемся в создании компьютерной модели нового здания, несущей в себе все сведения о будущем объекте Building Information Model (BIM).

Информационное моделирование здания (Building Information Modeling) – это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, финансовой и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями. В информационном моделировании здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект.

Трёхмерная модель здания, либо другого объекта, связанная с информационной базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить дополнительные атрибуты. Особенность подхода объект проектируется фактически как единое целое и изменение какого-либо одного из его параметров влечет за собой автоматическое изменение остальных, связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика.

Основные принципы информационного подхода в проектировании: трёхмерное моделирование; автоматическое получение чертежей; интеллектуальная параметризация объектов; соответствующие объектам базы данных; распределение процесса строительства по временным этапам.

Популяризация BIM-технологии позволит существенно снизить временные и ресурсные затраты компаний, занятых в сфере проектирования и управления проектами, а также создать им дополнительное конкурентное преимущество. Преимущества применения BIM: сокращение сроков проектирования; уменьшение расходов на реализацию проекта; повышение производительности работы благодаря простоте получения информации; повышение согласованности строительной документации; доступность конкретной информации о производителях материалов, количественных характеристиках для оценки и проведения тендера.

УДК 330(476)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВОЙ МОЩНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ОАО «БПХО»**

Скурат Д.С.

Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

Для проведения модернизации теплоэнергетической системы предприятий легкой промышленности необходимо определить базовую мощность энергопотребления, в частности, теплотребления, которое доминирует в структуре приходной части энергодолговесас рассматриваемых предприятий и определяется требованиями их теплотехнологий.

Очевидно, что ответ на этот определяющий вопрос связан, в том числе, со спросом на продукцию отрасли. Как известно, специфика спроса продукции легкой промышленности носит квази случайный характер и зависит от тенденций так называемой «высокой» моды. Для определения сбыта продукции отрасли целесообразно прибегнуть к методам статистического прогнозирования объемов производства на основе анализа тенденций спроса на внешних и внутренних рынках.

Результаты составленных прогнозов для текстильной и трикотажной отраслей с вероятностью 95 % показывают, что к 2030 г объемы производства основной продукции отраслей могут быть увеличены до 30 %. Прогноз составлялся на период, определяемый горизонтом проектирования энергокомплексов 15– 20 лет.

Задачей каждого конкретного предприятия в рамках планов отрасли является выбор собственного пути наращивания объемов производства, основанный на мировых и внутренних тенденциях, учете специфики собственных рынков сбыта продукции, обеспечение максимальной прибыли с расчетом рискованных ситуаций. Соответствующая оценка приведена в данной работе на примере предприятия ОАО «Барановическое производственное хлопчатобумажное объединение» (ОАО «БПХО»), специализирующегося на производстве хлопчатобумажных пряжи и тканей.

Таким образом, требуется произвести выбор стратегии развития, рассматриваемого предприятий и, в конечном итоге, мощность собственного комбинированного энергоисточника. Поставленная задача может быть решена с помощью известных статистических теорий игр и полученных прогнозов спроса для отрасли в целом.

Методика и результаты статистической игры развития объемов производства. В нашем случае в качестве статистической игры наиболее подходит математическая модель конфликтной ситуации, получившая название «игра с природой».

Инструментом игры с природой является матрица выигрышей, или платежная матрица. В самом общем виде матрица показывает, как платеж зависит от определенных событий, которые могут иметь место. Для составления стратегий обратимся к структуре реализации продукции предприятия ОАО «БПХО». Удельный вес товаров внутреннего рынка сбыта в объеме производства текстильной продукции, по данным 2013 г., на предприятии составляет 84,7 %. Удельный вес экспорта в объеме производства – 15,3 %, из которых 13 % поступает в страны СНГ, а остальные 2,1 % – в государства дальнего зарубежья. При выборе стратегии учитываются определенные ранее мировые тенденции спроса на хлопок. Прогнозы экспорта, приведенные ранее, показывают нецелесообразность планирования наращивания экспорта более чем на 14 % к 2020 г., относительно 2011 г. К 2030 г. востребованный объем производства, исходя из прогноза экспорта, с вероятностью 95 % может быть увеличен более чем на 29 %. Отсутствие данных по внутреннему рынку конкретного предприятия диктует необходимость использования статистики по розничной торговле в целом для отрасли. При

разработке платежных матриц используем статистические показатели прибыли, затрат и выручки за 2011–2014 гг. (таблица 1).

Таблица 1. Итоги деятельности ОАО «БПХО»  
(по данным Министерства финансов Республики Беларусь)

Наименование показателя за период	Период			
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	3-й кв. 2014г.
Выручка от реализации товаров, продукции, работ и услуг (за минусом НДС, акцизов и иных аналогичных обязательных платежей), млн руб.	238 881	377 442	495 992	344 211
Себестоимость реализации товаров, продукции, работ, услуг, управленческие расходы; расходы на реализацию, млн руб.	203 293	340 259	438 010	343 429
Прибыль от реализации продукции, млн руб.	35588	37183	57982	782
Рентабельность продукции	17,5 %	10,9 %	13,2 %	0,23 %

УДК 330 (476)

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНЦЕРНА «ЛЕГПРОМ»**

Муслина Д.Б.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Романюк В.Н.

Для проведения модернизации теплоэнергетической системы предприятий легкой промышленности необходимо определить базовую мощность энергопотребления, в частности, теплопотребления, которое доминирует в структуре приходной части энергобаланса рассматриваемых предприятий и определяется требованиями их теплотехнологий. Очевидно, что ответ на этот определяющий вопрос связан, в том числе, со спросом на продукцию отрасли. Как известно, специфика спроса продукции легкой промышленности носит квази случайный характер и зависит от тенденций так называемой «высокой» моды. Для определения сбыта продукции отрасли целесообразно прибегнуть к методам статистического прогнозирования объемов производства на основе анализа тенденций спроса на внешних и внутренних рынках. Результаты составленных прогнозов с вероятностью 95 % показывают, что к 2030 г объемы производства основной продукции отрасли могут быть увеличены до 30 %. Прогноз составляется на период, определяемый горизонтом проектирования энергокомплексов 15 – 20 лет. На базе полученного статистического прогноза рассматриваются стратегии развития отдельных предприятий на примере ОАО «БПХО».

Из полученных стратегий с учетом минимизации рисков и достижения максимальной средней ожидаемой прибыли определяется экономически обоснованный рост объемов производства данного предприятия – не более 21 % в ближайшие 15 лет. Используя приведенную величину, с учетом коэффициента теплофикации, значения которого для теплотехнологий достигают 70 %, мероприятий по использованию низкотемпературных побочных потоков производства (ВЭР), которые позволяют вернуть до 30 % потребляемой тепловой энергии, базовая мощность теплогенерирующего источника для рассматриваемого предприятия составит 60 % от существующей максимальной нагрузки. В структуре энергопотребления ОАО «БПХО» соотношение между потоками тепловой и электрической энергии равно 52/32. Согласно оценке, тепловая базовая мощность составит порядка 31 %, электрическая мощность возрастет до 38 %. В этом случае электрическая и тепловая мощности когенерационного источника, при применении современных ДВС могут быть приняты равными, и будут определяться требуемой базовой тепловой мощностью. В качестве пиково-аварийных мощностей использоваться будут Объединенная энергетическая система Беларуси и собственный или внешний паровой источник.

УДК 330

## МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ ПУТЕМ ПЕРЕВОДА ИХ НА МЕСТНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

Семененя Г.А., Качанов В.В., Краско А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

Беларусь является страной, импортирующей топливо, поскольку имеет небольшие запасы собственных энергоресурсов. В таких условиях важность энергосбережения нельзя отрицать. Именно с этой целью была принята главой государства Директива № 3 "Экономия и бережливость - главные факторы экономической безопасности государства" от 14 июня 2007 г., а также "Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь", которая принята указом президента № 433 от 17 сентября 2007 г. Эти документы играют большую роль в развитии и совершенствовании энергетического хозяйства страны, в частности, модернизации промышленных котлоагрегатов. Модернизация котлоагрегатов является путем решения следующих проблем: высокой степени износа, нарушения температурного графика подачи тепла, высокой себестоимости выработки тепла, обеспечения требований к оборудованию со стороны контролирующих органов.

Одним из важнейших факторов энергобезопасности является доля местных энергоресурсов в топливном балансе страны. На сегодняшний день, именно с этой целью, проводится обширная модернизация промышленных котлоагрегатов путем перевода их на местные виды топлива. Наиболее распространенными видами биотоплива, которые используются на энергетических установках сегодня, являются дрова (это уже устаревший вид топлива), щепа, пеллеты, брикеты.

Этот процесс особенно актуален для предприятий деревоперерабатывающей отрасли. При рубке и вывозке древесины из леса около 20% древесного сырья составляют отходы. В лесопильном производстве количество отходов составляет 35 – 42%, в мебельных производствах – 53 - 65%. Лесосечные отходы могут быть использованы для переработки в технологическую щепу, имеющую обширную перспективу применения в промышленных котельных в качестве топлива. Топливная древесная щепа — экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3 %. При сжигании этого вида топлива в атмосферу выбрасывается ровно столько  $\text{CO}_2$ , сколько было поглощено растением во время роста. Энергетическая ценность щепы составляет порядка 1.900 - 2.200 ккал/кг.

Внедрение подобных технологий поможет достигнуть повышения уровня энергетической независимости, обеспеченности и потребности в энергии за счет собственных энергоисточников, рост эффективности производства, повышения надежности системы энергоснабжения.

УДК 330(476)

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В.А. Грицук, А.А. Грицук

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Н. Романюк

На сегодняшний день мировая энергетика претерпевает глобальные изменения на фоне экономических проблем. Также существует тенденция к увеличению спроса на нефть и газ, что ведёт к росту цен на эти ресурсы. В результате этого предприятия и целые страны в качестве альтернативы используют жидкие виды топлива и уголь, для поддержания бесперебойного энергоснабжения и обеспечения энергетической безопасности, однако это ведёт к увеличению количества вредных выбросов. Одновременно ужесточаются экологические требования как к энергогенерирующим объектам, так и к предприятиям промышленного комплекса.

Всё это вынуждает к поискам новых альтернативных источников энергии, которые могли бы снизить дефицит природного газа и в тоже время снизить нагрузку на окружающую среду.

Частичным решением этой проблемы могло бы быть использование в качестве топлива абгазов – горючих ВЭР нефтехимических и других промышленных производств.

В современной энергетике разработано множество технологий для развития этого направления. Развиваются технологии по подготовке и очистке абгазов. Становятся актуальными установки для пиролиза нефтяного кокса, который является побочным потоком нефтеперерабатывающих производств, однако его применение напрямую ограничивается множеством факторов.

Не смотря на то, что абгазы обладают очень широким спектром свойств, производители энергогенерирующего оборудования также стараются поддерживать направление по утилизации горючих газообразных ВЭР. В результате появляются комплексные решения, позволяющие использовать абгазы в качестве энергетического топлива.

Однако, утилизация горючих ВЭР промышленных производств связана с рядом трудностей. Это специфичность состава газа, что зачастую требует индивидуальной доработки оборудования под конкретный газ, необходимость подготовки газа перед использованием.

Тем не менее, использование абгазов является эффективным путём для снижения потребления ПГ и уменьшения воздействия на ОС.

УДК 004.92.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Цухло Е.А., Байраш Е.А., Позднякова М.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

**Autodesk Revit MEP** — программный комплекс для проектирования внутренних инженерных коммуникаций. Включает в себя инструментарий по проектированию систем вентиляции, отопления, теплоснабжения, электроосвещения и электроснабжения. Сравнения Autodesk Revit MEP с другими программными комплексами.

Рассмотрим проектирование систем вентиляции и кондиционирования, отопления и теплоснабжения: MagiCAD Suite в составе модулей MagiCAD.

Основные преимущества MagiCAD Suite перед Autodesk Revit MEP 2014:

MagiCAD Вентиляция в отличие от Autodesk Revit MEP 2014 производит все необходимые расчеты: суммирование расходов, подбор сечений воздуховодов, балансировка системы, акустический расчет. В Autodesk Revit MEP 2014 только подбор сечений воздуховодов;

MagiCAD Трубопроводы в отличие от Autodesk Revit MEP 2014 производит все необходимые расчеты: подбор отопительных приборов, суммирование расходов, подбор сечений трубопроводов, балансировку системы. В Autodesk Revit MEP 2014 только подбор сечений трубопроводов;

база данных отопительного и вентиляционного оборудования содержит несколько сотен тысяч элементов с точными размерами и полным набором технических параметров от европейских и китайских производителей.

Основные преимущества Project StudioCS Водоснабжение перед Autodesk Revit MEP 2014:

включает графическую и расчетную часть;

оформление чертежей по российским стандартам с автоматической простановкой отметок уровня, выносок;

автоматическая генерация спецификаций по российским стандартам с сохранением в форматах MS Word, MS Excel, \*.dwg.

При проектировании объектов малой энергетики (тепловые пункты, котельные, насосные и т.п.) можно использовать Model Studio CS.



УДК 004.92.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ В AUTODESK REVIT MEP 2014

Хатянович П.П., Романенко Р.С., Малоед А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Revit MEP предназначен для проектировщиков-теплотехников, позволяет производить энергетический расчет здания с учетом всех теплопоступлений:

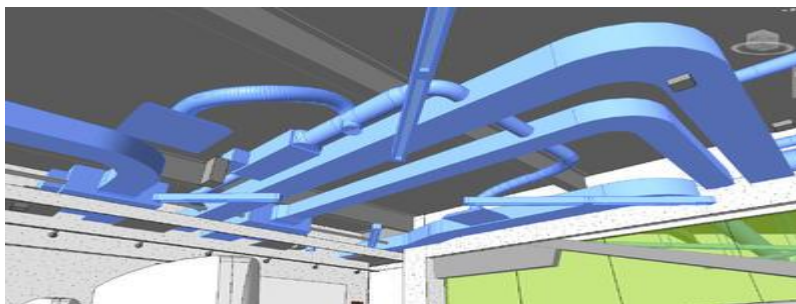
- теплопоступления и теплопотери через ограждающие конструкции;
- тепловлагодоступления от людей;
- теплопоступления от электроосвещения;
- теплопоступления от электроприборов.

В Autodesk Revit MEP 2014 встроены функции расчета отопительных и холодильных нагрузок, которые позволяют быстро выполнять расчеты энергопотребления, а также формировать отчеты о нагрузках на системы отопления и кондиционирования с привязкой к дате и времени. Данные расчетов тепловой и холодильной нагрузок используются совместно с интуитивными инструментами 3D - компоновки для проектирования систем ОВК. Основные и вспомогательные системы ОВК компонуются на основе расчетных нагрузок. Разводка и подбор сечений воздухопроводов или трубопроводов между любыми двумя точками выполняются на основе расчетных нагрузок и технических требований к системе.

Также встроена технология управления параметрическими изменениями, обеспечивающая лучшую согласованность проектных данных.

Есть возможность выбрать один из вариантов автоматической компоновки воздухопроводов или трубопроводов либо создать собственный вариант путем внесения необходимых изменений.

Одним из ключевых преимуществ Autodesk Revit MEP 2014 является возможность вносить изменения в спецификацию и перестраивать на основе этих изменений весь проект.



УДК 621.31

## ЭНЕРГО – И ХЛАДОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА ХИМЗАВОДА

Голубец Н.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

В настоящее время практически нет ни одной области народного хозяйства, где бы ни использовались пластмассы. Пластмассами – называются такие материалы, содержащие в качестве основного компонента полимер, которые при переработке в изделия проявляют пластические свойства, а в обычных условиях представляют собой твердые и упругие вещества. Полимерами – являются вещества, молекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев одинакового химического состава и строения и представляют собой длинные цепи. Благодаря цепному строению полимеры отличаются гибкостью и большой механической прочностью, пригодны к переработке в тонкие пленки и волокна. Из них получают самые разнообразные изделия – мелко- и крупногабаритные детали машин и механизмов.

Технология получения поливинилхлорида подразумевает под собой две стадии полимеризации. Первая стадия полимеризации — это подвод теплоты в виде водяного пара давлением 0,3 МПа. Полученная суспензия сливается в горизонтальный вращающийся автоклав 2, оборудованный ленточно-спиральной мешалкой или содержащий металлические шары для удаления со стенок аппарата нарастающего слоя полимера, который затрудняет отвод теплоты реакции. В автоклав 2 добавляют низкотемпературную иницирующую систему окислительно-восстановительного типа, регулятор молекулярной массы и часто термостабилизаторы поливинилхлорида. Процесс ведут до 65...70%-ной конверсии при температуре от -10 до -20 °С, для чего в рубашку автоклава 2 направляется хладоноситель. Роль, которого выполняет раствор хлорид кальция концентрацией 24,7% с температурой замерзания -31,2 °С.

Хладоснабжение основного производства осуществляется от компрессионной холодильной установки. Так как отношение давлений кипения хладагента  $P_0$  к его конденсации  $P_k$  больше 7. В качестве холодильного агента принят аммиак R717. Применяем холодильную машину с двух ступенчатым сжатием холодильного агента и двойным дросселированием. Двухступенчатое регулирование (дросселирование), уменьшает потребляемую установкой мощность, так как пар, образовавшийся при верхнем дросселировании, отделяется и сразу поступает в компрессор верхней ступени, т.е. не проходит через компрессор нижней ступени, где нужно было бы затратить энергию на его сжатие от  $P_0$  до  $P_{пр}$ .

Теплогенерирующим источником является производственная котельная, оснащённая паровыми котлами ДЕ 6,5 -14.

УДК 621.31

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ СУХОГО ЛЬДА

Никифоров И.С, Воробьев В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Сухой лед применяют в качестве хладагента при транспортировке пищевой продукции, такой как мороженое, мясные и другие скоропортящиеся продукты. Основным параметром при получении сухого льда является охлаждение жидкого диоксида углерода (IV) ниже температуры тройной точки.

В этой работе мы рассмотрели работу трехступенчатой холодильной установки (рисунок 1) и сравнили ее эффективность с каскадной установкой с аммиачной холодильной машиной, заменившей третью ступень.

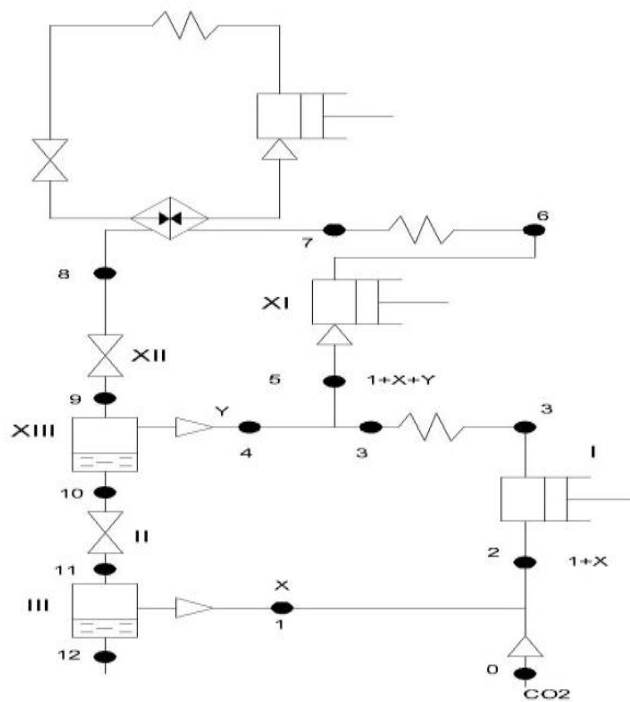


Рисунок 1 - Трехступенчатая холодильная установки  
Принципиальная схема каскадной установки представлена на рисунке 2.

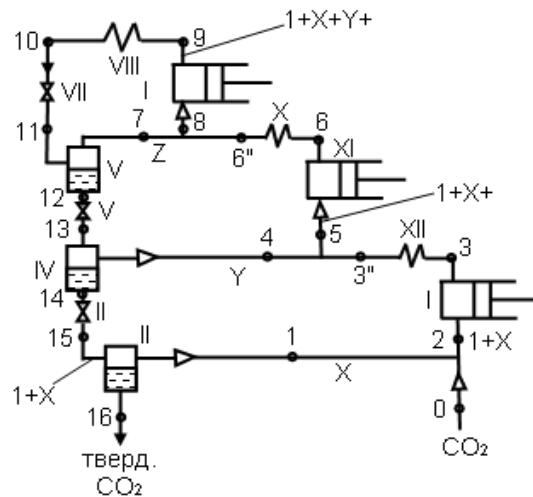


Рисунок 2 - Принципиальная схема каскадной установки

Основные исходные данные для расчета – начальные параметры диоксида углерода соответствуют параметрам ОС, расход 1 кг/с.

Для того, чтобы охладить и конденсировать аммиак в холодильной машине используем воду с температурой 20 °С, при такой температуре давление конденсации паров диоксида углерода составит 66 атм. Поэтому была выбрана трехступенчатая холодильная машина. При использовании каскадной установки, аммиак, который охлаждает пары диоксида углерода, испаряется в конденсаторе – испарителе.

Оценкой эффективности этих установок, трехступенчатой и каскадной, явилось сравнение двух полученных эксергетических КПД. По результатам расчета каскадная установка эксергетический КПД на 19% больший, чем у трехступенчатой холодильной машиной.

УДК 621.31

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПИКОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

Воробьев В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Струйные аппараты широко распространены в промышленности (в качестве отсоса пара уплотнений, для нужд холодоснабжения, поддержания разряжения в конденсаторе, пневмо- и гидротранспорта). Использование их на нужды горячего водоснабжения (ГВС) не широко.

При проектировании ГВС тепловые нагрузки подогревателей (к примеру, кожухотрубных) рассчитывают по максимальному потреблению воды при заданных её параметрах. В основном, системы ГВС закольцованы, что позволяет экономить на расходуемом водяном паре. При больших пиковых расходах, значительно отличающихся от среднесуточных, не всегда целесообразно устанавливать сетевые подогреватели на обеспечение максимального потребления. К тому же, при прокачивании большого объема горячей воды по кольцу затраты на электроэнергию существенны.

Было предложено использовать следующую систему пикового водоснабжения на базе водопаровых струйных подогревателей.

ГВС включает в себя бак, 2 струйных подогревателя 4, краны шаровые 2, клапан регулирующий 1, обратный клапан 3, насосы 5 и клапан трехходовой. Холодная вода поступает в форсунки, создает разряжение в приемной камере и подсасывает водяной пар. После смешения горячая вода падает в бак. На выходе из бака установлены насосы, которые подают горячую воду в трубопровод. Во время нормального потребления горячей воды система закрыта, и в случае охлаждения воды, проводится рециркуляция для ее подогрева. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 1.

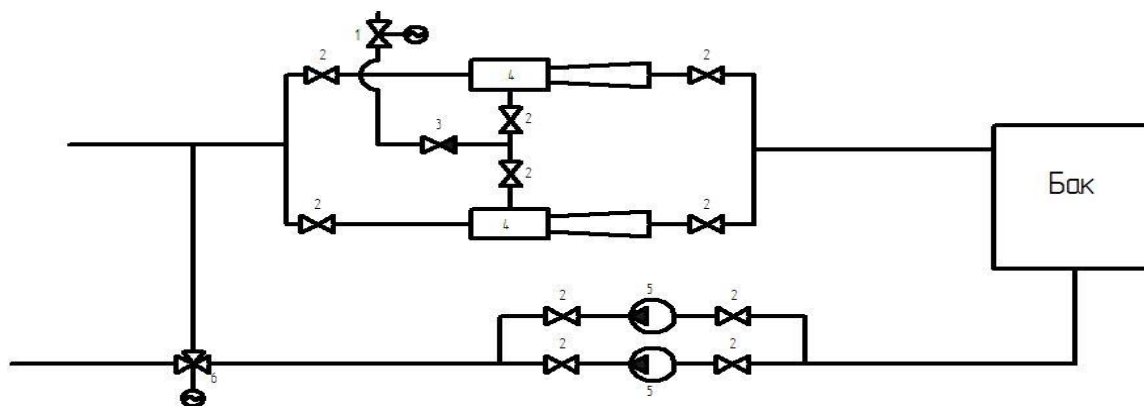


Рисунок 1 – Система ГВС на струйных аппаратах

УДК 620.92

## ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Мосевич С.В., Бушков П.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

В прошлом веке основная доля использованного топлива приходилась на нефть, уголь и газ, то сейчас ученые всего мира нацелены на расширение использования возобновляемых источников энергии. Гелиоэнергетика является одним из них.

**Гелиоэнергетика** или солнечная энергетика - один из наиболее перспективных видов альтернативной энергетике. Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана.

В столице недавно была запущена в эксплуатацию экспериментальная гелиоустановка, которая обеспечивает электроэнергией подъезды типового многоквартирного дома. На крыше дома смонтированы четыре солнечные (фотогальванические) панели под углом 38–42 градуса. В электрощитовой располагается блок управления, где находятся аккумуляторы, инвертор, контроллер заряда, схема подключения к местам общего пользования и дежурному освещению. До начала эксперимента на освещение мест общего пользования данного объекта расходовалось 1291 кВт электроэнергии, теперь – 308.

В Республике Беларусь организовано производство гелиосистем для нагрева воды. Они представляют собой лёгкие, компактные конструкции, собираемые по модульному принципу. В зависимости от конкретных условий можно получить установку любой производительности. Основой гелиосистем является плёночно-трубчатый адсорбирующий коллектор. Теплообменники, входящие в состав систем, изготавливаются из специальных материалов, исключающих коррозию при замерзании. Гелиоустановки могут соединяться к централизованной системе отопления или работать автономно с заправкой бака-накопителя.

Широко распространено мнение о том, что практическое использование солнечной энергии - дело отдаленного будущего. Это мнение неверно. Солнечная энергетика в Беларуси начинает стремительно развиваться, чтобы стать альтернативной. Необходимо объединить усилия для борьбы за чистую планету, чистый воздух, чистую воду!

УДК 621.311.22:551.23

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Кулаков В.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Геотермальные ресурсы – подземные резервуары горячей воды или пара, которые существуют при различных температурах и на различных глубинах под поверхностью Земли. Это ресурс, который является результатом разницы температур между ядром планеты и ее поверхностью. Этот «геотермальный градиент» непрерывно проводит тепловую энергию к поверхности Земли, так как породы в ядре тают от высокой температуры и давления, создавая конвекцию магмы, направленную вверх, так как она легче, чем твердые породы. Несмотря на то, что температура в ядре достигает около 5000 градусов по Цельсию, температура пород и воды в земной коре, нагреваемых магмой, редко превышает 370 градусов по Цельсию.

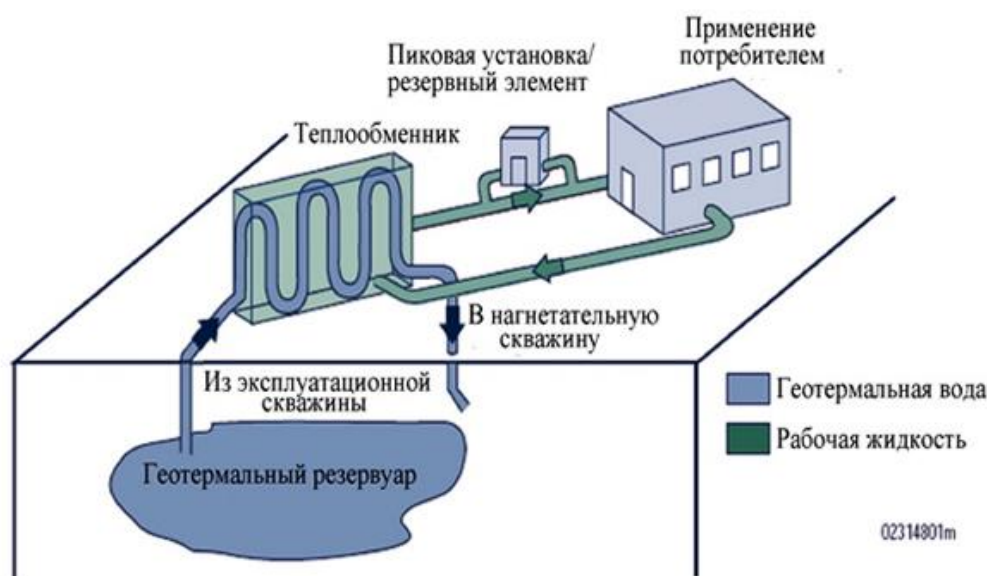


Рисунок 1 - Геотермальная энергия РБ

Теоретически, геотермальных ресурсов Земли достаточно для удовлетворения человеческих потребностей в электроэнергии, однако лишь очень небольшая их часть может быть использована в действительности, потому что разведка и бурение глубокозалегающих ресурсов стоит очень дорого. Тем не менее, продолжающийся технический прогресс расширяет диапазон ресурсов.

Данные о подземных геотермальных условиях Беларуси в настоящее время не разработаны. Однако исследования показывают, что высокий геотермальный потенциал территории находится на юге страны, на расстоянии 200 км вдоль Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины. Центр находится на глубине примерно 2,000 — 2,5000 м и охватывает города Светлогорск, Гомель, Октябрьский, Калинковичи и Речица.

В Беларуси уже существует опыт использования геотермальных ресурсов. В стране действует около 100 геотермальных установок. Два года назад введена в опытную эксплуатацию пилотная геотермальная станция мощностью 1 МВт на территории тепличного комплекса «Берестье» Брестского района. Основное ее назначение – обогрев 1,5 – 2 га теплиц хозяйства.

На тепловой энергии горных пород отапливаются здания пограничного и таможенного перехода "Новая Рудня" на белорусско-украинской границе в Ельском районе Гомельской области.

Запланировано проектирование экспериментальной геотермальной установки для погранперехода "Урбаны" на белорусско-латышской границе в Браславском районе Витебской области.

Для Беларуси, как и для многих других стран, актуальна проблема зависимости от импортных энергоносителей - нефти и газа. Для решения проблемы необходимо развивать альтернативные источники энергии, в том числе и геотермальные.



УДК 621.311

## ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Шевчук И.В., Макаренко Д.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Бегляк А.В.

Принцип действия солнечных электростанций на базе параболоцилиндрических концентраторов базируется на нагревании жидкости с помощью концентрирования солнечных лучей зеркальной поверхностью на поглотителе. Приемник располагается вдоль фокальной линии. Жидкость-теплоноситель (термомасло) проходит через приемник и поглощает тепло, а затем передает его воде в солнечном парогенераторе.

В данном случае рассмотрена работа парогазовой установки в составе газотурбинной установки, котла-утилизатора без дожигания и паротурбинной установки в двух режимах.

«Ночной» режим, в котором пар, генерируемый котле-утилизаторе, подается в турбину с давлением 4 МПа и температурой 350 °С и приводит в действие электрогенератор. Из турбины также предусмотрен отбор пара на нужды потребителя. Отработанный пар направляется в конденсатор, где происходит его конденсация за счет охлаждения циркуляционной водой, которая в свою очередь охлаждается атмосферным воздухом в градирне. Далее конденсат подогревается в подогревателе водой, выходящей из деаэрата и направляющейся в котел-утилизатор.

«Дневной» режим характеризуется подключением к работе солнечной установки на параболоцилиндрических концентраторах. В солнечное время лучи попадают на поверхность концентраторов, затем концентрируются на трубках, где под давлением прокачивается термомасло. Масло нагревается до температуры 400 °С и отдает свою теплоту воде, испаряя ее в солнечном парогенераторе. Пар с давлением 4 МПа и температурой 350 °С направляется в турбину, где он расширяется и приводит в действие электрогенератор (в данном случае отбор пара на потребителя из паровой турбины не предусмотрен). Весь пар из котла-утилизатора направляется к потребителю. Преимуществом такого режима работы является то, что удается достичь максимальной выработки технологического пара (благодаря тому, что весь пар из котла-утилизатора идет к потребителю), и в то же время максимальной выработки электроэнергии за счет пара, генерируемого в солнечном парогенераторе.

# СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

---

## ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### РАСЧЕТ СТАТИКИ ПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ТЕРМОЗАВИСИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сороко В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладыко Ю.В.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Гриневич Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

### РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Жилко А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ БЕЗ СОСТАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Мошкина А.П., Кравцов М.Л.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горошко В.И.

### УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Данильчук В.В., Кулинка Е.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

### ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ НАЛОЖЕНИЯ

Паноцкая Е.И., Мазуров Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горошко В.И.

### АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЛЕБЁДКИ

Прупас В.А., Ситкевич С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Згаевская Г.В.

### ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА ЗВУКА В ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЯХ С НЕКОТОРЫМИ РАСПРОСТРАНЕННЫМИ ВИДАМИ ЛАМП

Мудрый В.В., Батайчук А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

### ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПЫ

Жаврид А.В.

Научный руководитель – ассистент Жорова М.И.

### ТРАНЗИСТОРЫ СЕГОДНЯ И ВОЗМОЖНОЕ РАЗВИТИЕ В БУДУЩЕМ

Кот. П.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЦЕССОРОВ**

ЛАБЕЦКИЙ Д.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

**РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК**

МАКАРОВ Я.Е.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

**ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ**

СУХОВЕРСКИЙ Д.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

БАБИНА С.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

**ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА БЫТОВЫХ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН**

ЗАЯНЧКОВСКАЯ М.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГЕРКОНА И GSM СВЯЗИ**

РОСКАЧ А.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ЛИХАЧЕВСКАЯ А.А., ВИННИКОВА А.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

ЖУРО М.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ТРАНСПОРТЕ**

ПОНОМАРЕВ Т.С., КИСЕЛЬ И.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**УСТРОЙСТВО, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП**

ЛОЙКУЦ Е.А., СТАШКЕВИЧ О.С., АНИСЬКОВА В. А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г. А.

**ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

ЮРКЕВИЧ К.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ**

ПУСЬ А.В., ЦВИРКО А.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

**ТИПЫ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ**

ПУПЕЙКО Е.В., САСКОВЕЦ А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

### **ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОКАМИНОВ**

Букач А.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

### **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗ 12 В 220 ВОЛЬТ**

Азохов Д.Л., Дыдик П.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

### **ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА**

Н.С. Сомов, О.Е. Сычёв.

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.И. Можар

### **СЕРВОДВИГАТЕЛИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Шиманюк Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

### **ПЛЕНОЧНАЯ МИКРОСХЕМА**

Гребень В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

УДК 621.316.35

## РАСЧЕТ СТАТИКИ ПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ТЕРМОЗАВИСИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сороко В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладыко Ю.В.

Точный расчет механических напряжений возможен при представлении проводов гибкой упругой нитью, что позволяет кардинальным образом решить задачу учета упругих и температурных удлинений провода в различных режимах климатических воздействий. Поэтому в основу разработанного на кафедре "Электрические станции" БНТУ векторно-параметрического метода механического расчета гибкой ошиновки распределительных устройств и проводов воздушных линий (ВЛ) положена расчетная модель проводов в виде гибкой упругой нити [1].

Дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие статику гибкой упругой нити [1], являются нелинейными. Их численное решение производится разностным методом с помощью ЭВМ. Система конечно-разностных уравнений решается на основе вложенных друг в друга итераций: относительно координат, тяжения или длины провода.

По разработанному алгоритму разработана модифицированная программа расчета статики проводов. Она использована для расчета монтажных кривых (рис.1 и 2), представляющих собой зависимость тяжений и стрел провеса провода от температуры.

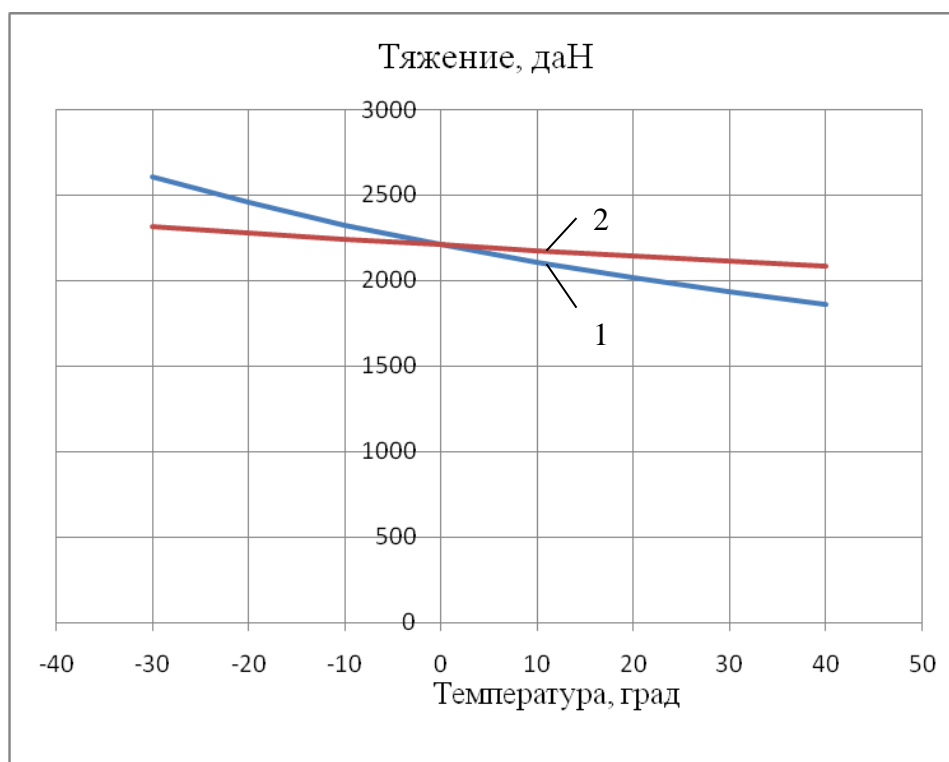


Рисунок 1. Зависимость тяжений провода пролета ВЛ длиной 300 м от температуры для разных коэффициентов температурного удлинения провода  
(1 -  $\alpha_t = 2 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ ; 2 -  $\alpha_t = 6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ )

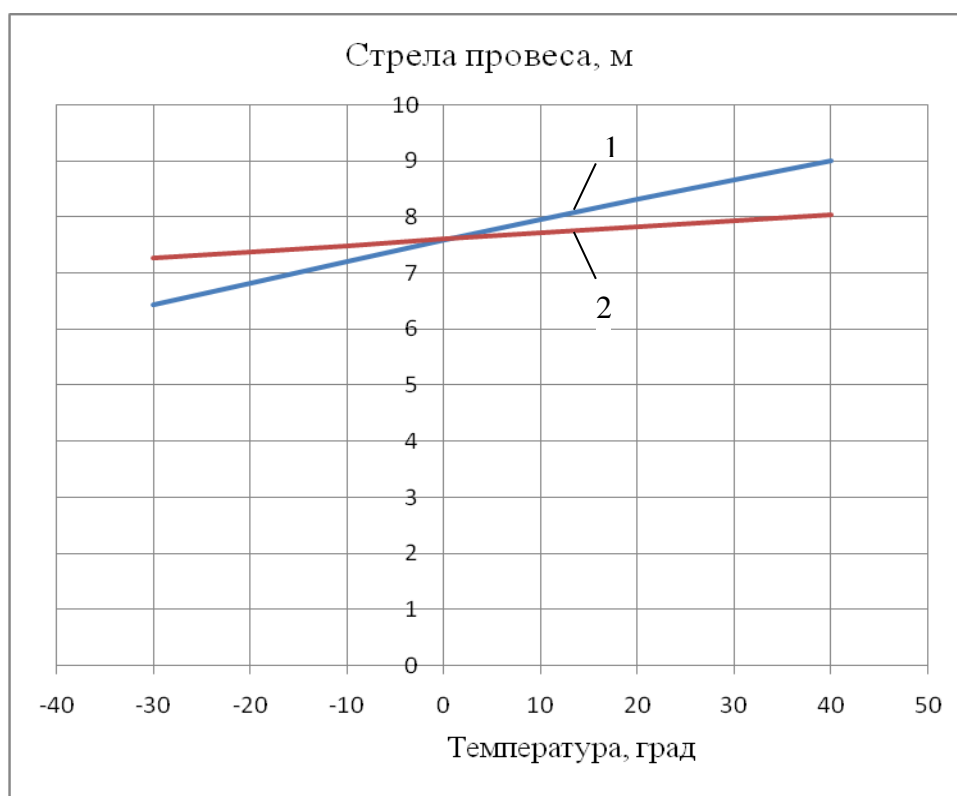


Рисунок 2. Зависимость стрел провеса провода пролета ВЛ длиной 300 м от температуры для разных коэффициентов температурного удлинения провода  
(1 -  $\alpha_t = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ; 2 -  $\alpha_t = 6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ )

Как видно из рис. 1 и 2, чем меньше значение коэффициента температурного удлинения провода, тем меньше изменение тяжения и стрел провеса при изменении температуры. Поэтому предпочтительнее строительство ВЛ с композитными проводами, имеющими наименьшие значения коэффициента температурного удлинения провода.

Что касается применения адаптивной линейной арматуры (АЛА), то ее влияние на уменьшение изменений тяжений и стрел провеса несущественно из-за малой длины АЛА. Так эквивалентный коэффициент температурного удлинения системы «провод и АЛА» равен

$$\alpha_t = \frac{\alpha_{t1} \cdot l_1 + \alpha_{t2} \cdot l_2}{l_1 + l_2},$$

где  $\alpha_{t1}$  - коэффициент температурного удлинения провода длиной  $l_1$ ;

$\alpha_{t2}$  - коэффициент температурного удлинения АЛА длиной  $l_2$ .

При отрицательном коэффициенте температурного удлинения АЛА и  $\alpha_{t2} \approx -\alpha_{t1} \cdot \frac{l_1}{l_2}$

влияние температуры можно компенсировать.

### Литература

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И., Бладыко Ю.В. Численный метод расчета статики гибкой ошиновки ОРУ в различных режимах климатических воздействий // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).- 1983.- № 8.- С. 8-14.

УДК 621.311.16

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Гриневич Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

Преобразователи электроэнергии преобразуют переменный ток в постоянный и наоборот, регулируют или стабилизируют выходной ток или напряжение, изменяют частоту переменного тока. В электроприводе применяют два основных типа преобразователей электроэнергии: электромашинные и статические. С точки зрения качества электроэнергии и влияния работы на сеть электромашинные преобразователи имеют преимущества перед статическими, однако их доля использования постоянно уменьшается, так как они громоздки и имеют худший КПД, чем статические преобразователи.

Электромашинный преобразователь переменного тока в постоянный содержит асинхронный двигатель и машину постоянного тока, установленные на одном валу. Частота вращения ротора асинхронного двигателя практически постоянна, напряжение на зажимах машины постоянного тока регулируется изменением тока возбуждения.

Электромашинный преобразователь, выходное напряжение которого регулируется по амплитуде и частоте, содержит асинхронный двигатель, две машины постоянного тока, и синхронный генератор. Регулируя частоту вращения якоря машины постоянного тока и ток в цепи возбуждения машины постоянного тока, якорь которой соединён с ротором синхронного генератора, можно получить на выходе напряжение изменяющейся частоты и амплитуды.

Энергетические показатели электромашинных преобразователей электроэнергии можно оценивать по потерям отдельно в каждой электрической машине, используя для этого соответствующие соотношения.

Среди силовых статических преобразователей наиболее распространёнными и перспективными являются полупроводниковые преобразователи на базе диодов, тиристоров и транзисторов. По своим энергетическим свойствам статические преобразователи электроэнергии обладают рядом особенностей, главной из которых является генерация высших гармонических составляющих тока и напряжения, которые вызывают искажение напряжения в питающих сетях и увеличивают потери в канале передачи электроэнергии.

Процесс преобразования и регулирования электроэнергии в преобразователях производится за счёт работы полупроводниковых приборов в ключевом режиме, что является причиной возникновения высших гармонических токов и напряжений на входе и выходе преобразователей.

Другая особенность статических преобразователей обусловлена тем, что регулирование величины выходного напряжения осуществляется за счёт задержки момента включения тиристоров по отношению к сетевому напряжению, в результате чего первая гармоническая составляющая тока, определяемая частотой сети, оказывается сдвинутой на некоторый угол относительно напряжения сети. Поэтому преобразователи потребляют реактивную мощность не только на частоте высших гармоник, но и на частоте сети.

Отмеченные выше особенности преобразователей являются негативными, так как они вызывают увеличение потерь энергии в силовом канале электропривода и другие нежелательные эффекты (ускорение старения изоляции обмоток двигателя, усложнение коммутации коллекторных машин и др.).

Существенным положительным свойством полупроводниковых преобразователей, по сравнению с электромашинными, являются меньшие потери от гармонической составляющей тока. Это объясняется, во-первых, меньшими потерями в самом преобразователе по сравнению с электрической машиной (отсутствуют механические потери, потери на возбуждение электрических машин), и во-вторых, меньшим числом

ступеней преобразования электроэнергии. Номинальный КПД современных полупроводниковых преобразователей составляет: для преобразователей частоты – 0,9-0,95; для выпрямителей – 0,95-0,98. КПД электромеханических преобразователей существенно ниже – 0,7-0,8.

Оценивая энергетические показатели электроприводов с полупроводниковыми преобразователями, необходимо уделять внимание:

- потерям в преобразователе от первой гармонической составляющей тока;
- потерям в силовом канале от высших гармонических составляющих тока;
- коэффициенту мощности преобразователей.

Потери от первой гармонической составляющей тока состоят из потерь в силовых элементах, включённых на входе (трансформаторах, сетевых реакторах) и выходе (трансформаторах, сглаживающих и уравнивающих реакторах), в самих полупроводниковых приборах, а также в активных сопротивлениях цепей обмоток двигателей, с которыми связаны преобразователи.

Потери от высших гармоник тока состоят из потерь в сети и в двигателях. В сети потери обусловлены искажением синусоидальности питающего тока. В двигателях постоянного тока потери в обмотке якоря от высших гармонических составляющих практически полностью определяются наиболее низкочастотной (первой) составляющей тока. В двигателях переменного тока дополнительные потери определяются практически только гармоническими составляющими низких частот.



УДК 621.311.16

## РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КАК СРЕДСТВО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Жилко А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

Как правило, необходимость регулирования скорости или момента электроприводов производственных механизмов диктуется требованиями технологического процесса. Например, скорость подачи резца определяет чистоту обработки детали на токарном станке, понижение скорости лифта необходимо для точной остановки кабины, необходимость регулирования момента на валу наматывающего устройства необходимо для поддержания постоянства усилия натяжения наматываемого материала т. д. Однако существует ряд механизмов, для которых изменение скорости по условиям технологии либо не требуется, либо для регулирования используются другие (не электрические) способы влияния на параметры технологического процесса. В первую очередь к ним относятся механизмы непрерывного транспорта для перемещения твёрдых, жидких и газообразных продуктов: конвейеры, вентиляторы, нагнетатели, насосные установки. Для этих механизмов в настоящее время используются, как правило, нерегулируемые асинхронные электроприводы, которые приводят в движение рабочие органы с постоянной скоростью независимо от загрузки механизмов. Однако следует иметь в виду, что режимы работы таких механизмов при неполной их загрузке характеризуются повышенным удельным расходом электроэнергии по сравнению с номинальным режимом. Более экономичным является режим работы с переменной скоростью, обеспечивающей ту же производительность, но при постоянстве усилия на транспортёре конвейера. При регулировании скорости конвейера и усилия на ленте транспортёра применение двигателя с переменной частотой вращения является более экономичным. Следует иметь в виду, что эффект от регулирования скорости тем выше, чем больше момент холостого хода.

Эффект в сфере технологии часто оказывается существенно выше, чем за счёт экономии электроэнергии, поэтому принимать решение о целесообразности применения регулируемого электропривода для таких механизмов, оценивая лишь энергетический аспект, принципиально неверно. Для оценки эффекта в сфере технологии рассмотрим пути снижения расхода электроэнергии механизмами непрерывного транспорта за счёт регулирования скорости их электроприводов.

Снижение скорости механизмов непрерывного транспорта при недогрузке позволяет выполнить необходимый объём работы с меньшим удельным расходом электроэнергии, т.е. решить чисто экономическую задачу по снижению энергоёмкости технологического процесса. Обычно при снижении скорости таких механизмов экономический эффект появляется также за счёт улучшения эксплуатационных характеристик технологического оборудования. Так, при снижении скорости уменьшается износ тянущего органа транспортёра; увеличивается срок службы трубопроводов и арматуры за счёт снижения давления, развиваемого машинами для подачи жидкостей и газов; а также устраняется избыточный расход этих продуктов.

Центробежные механизмы для подачи жидкостей и газов (вентиляторы, насосы, нагнетатели, компрессоры) являются основными общепромышленными механизмами, обладающими наибольшими потенциальными возможностями для значительного сокращения удельного расхода электроэнергии. Особое положение центробежных механизмов объясняется их массовостью, большой мощностью и, как правило, длительным режимом работы. Указанные обстоятельства определяют значительный удельный вес этих механизмов в энергетическом балансе страны

Суммарная установленная мощность приводных двигателей насосов, вентиляторов, компрессоров составляет около 20% от всей мощности энергосистемы.

Регулирование подачи насоса, работающего с постоянной скоростью, обычно осуществляется задвижкой на его выходе. По аналогии с электрическими цепями регулирование расхода задвижкой подобно регулированию тока путём увеличения электрического сопротивления цепи. Но такой способ регулирования с энергетической точки зрения не эффективен, так как сопровождается непроизводительными потерями энергии в регулирующих элементах (резисторе, задвижке).

Так же как и в электрической цепи, более экономно регулирование параметров источника энергии, а не её потребителя. В электрических цепях при этом ток нагрузки снижается за счёт уменьшения напряжения источника. В гидравлических и аэродинамических сетях аналогичный эффект получается при уменьшении напора, создаваемого механизмом, что реализуется снижением скорости его рабочего колеса.

Регулируемый электропривод позволяет значительно сократить расход потребляемой электроэнергии (около 40%). На практике этот эффект может оказаться ещё более высоким, так как по различным причинам (отсутствие или неисправность задвижек, ручной привод) регулирование задвижками вообще не применяется, что приводит не только к повышению расхода электроэнергии, но и к избыточным напорам и расходам в гидравлической сети.

УДК 621.3.01

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ БЕЗ СОСТАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Мошкина А.П., Кравцов М.Л.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горошко В.И.

При расчете переходных процессов самой трудоемкой ручной процедурой является составление системы дифференциальных уравнений в нормальной форме (форме Коши). Этой процедуры можно избежать, если применить один из неявных численных методов непосредственно к уравнениям динамики реактивных элементов [1]. Для индуктивности это уравнение имеет вид:

$$u_L = \frac{L di_L}{dt} . \tag{1}$$

Применяя неявный метод Эйлера к уравнению (1), получим

$$i_{n+1} = i_n + \frac{h}{L} u_{n+1} . \tag{2}$$

Уравнению (2) соответствует цепь на рис.1 или эквивалентная цепь на рис. 2.

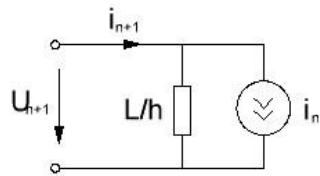


Рисунок 1

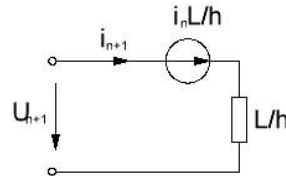


Рисунок 2

Для емкости С уравнение динамики имеет вид:

$$i_C = \frac{C du_C}{dt} . \tag{3}$$

Неявный метод Эйлера приводит к уравнению

$$u_{n+1} = u_n + \frac{h}{C} i_{n+1} \tag{4}$$

Уравнению (4) соответствует цепь на рис.3, которую можно преобразовать к схеме на рис. 4.

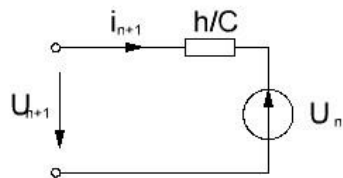


Рисунок 3

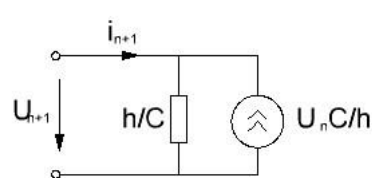


Рисунок 4

В полученных четырех схемах имеются источники напряжения и тока, которые зависят от напряжения или тока на предыдущем шаге. Это позволяет начать расчет при  $n = 0$ , т.е. зная независимые начальные условия  $U_C(0)$ ,  $i_L(0)$ .

Если все индуктивности и емкости заменить их активно-резистивными моделями (рис. 1-рис. 4) получим активно-резистивную цепь. Эту цепь можно рассчитать, используя любой из методов расчета сложных цепей (законы Кирхгофа, метод контурных токов, узловые уравнения и т.д.). Выбрав временной шаг  $h = \text{const}$ , на каждой итерации будем получать обновленные значения источников, а эквивалентные сопротивления  $L/h$  и  $h/C$  будут оставаться неизменными.

Рассмотрим применение этого метода для цепи на рис. 5

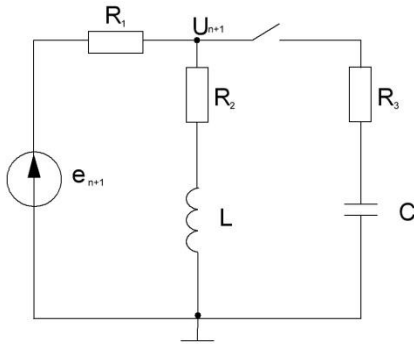


Рисунок 5

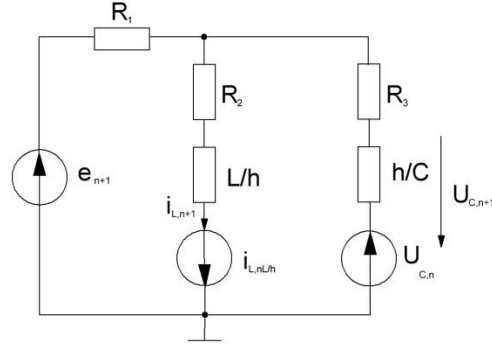


Рисунок 6

Для цепи на рис.5, удобнее брать последовательные схемы замещения. После проведения замены индуктивности и емкости их активно-резистивными моделями получим цепь на рис.6.

Расчет ведем методом узловых напряжений.

$$\left\{ \begin{aligned} u_{n+1} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + \frac{L}{h}} + \frac{1}{R_3 + \frac{h}{C}} \right) &= \frac{e_{n+1}}{R_1} - \frac{\frac{L}{h} i_{L,n}}{R_2 + \frac{L}{h}} + \frac{u_{C,n}}{R_3 + \frac{h}{C}}; \\ i_{L,n+1} &= \frac{u_{n+1} + \frac{L}{h} i_{L,n}}{R_2 + \frac{L}{h}}; \\ u_{C,n+1} &= \frac{(u_{n+1} - u_{C,n}) \frac{h}{C}}{R_3 + \frac{h}{C}} + u_{C,n}. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

В данном случае уравнения системы (5) распадаются на три независимых уравнения, т.е. первое уравнение решается независимо и позволяет найти потенциал  $u_{n+1}$  для узла А. Подставляя это значение  $u_{n+1}$  во второе уравнение системы находим  $i_{L,n+1}$ , а подставляя затем  $u_{n+1}$  в третье уравнение системы получаем  $u_{C,n+1}$ .

Для элементов цепи и временного шага приняты следующие значения:

$R_1 = 20 \text{ Ом}; R_2 = 30 \text{ Ом}; R_3 = 50 \text{ Ом}; L = 0,5 \text{ Гн}; C = 5 * 10^{-7} \text{ Ф};$

$h = 0,05 * 10^{-4}$ .

Исходная программа:

```
clear;
uc = 0;
u = 0;
t = 0;
iL = 1;
R1 = 20;
R2 = 30;
R3 = 5;
L = 0.05;
```

```

C = 5*10^-5;
E = 50;
h = 0.05*10^-4;
N = 3000;
for n = 1:N
uc=((u-uc)*(h/C))/(R3+(h/C))+uc;
u = ((E/R1)-(iL*L)/(h*((L/h)+R2)))+(uc/((h/C)+R3))/((1/R1)+(1/((L/h)+R2))+1/((h/C)+R3));
iL=(u+iL*(L/h))/((L/h)+R2);
ucn(n) = uc;
un(n) = u;
iLn(n) = iL;
t = t+h; tn(n) = t;
end
plot(tn,iLn), grid on;
plot(tn,ucn), grid on;

```

Полученные графики:

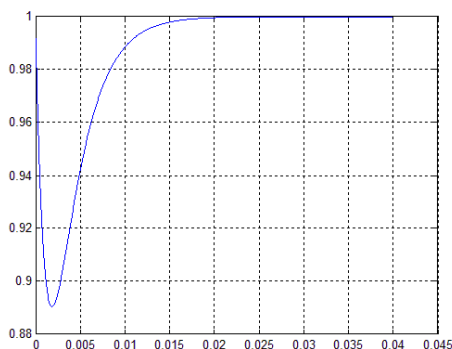


Рисунок 7 График зависимости  $i_L(t)$

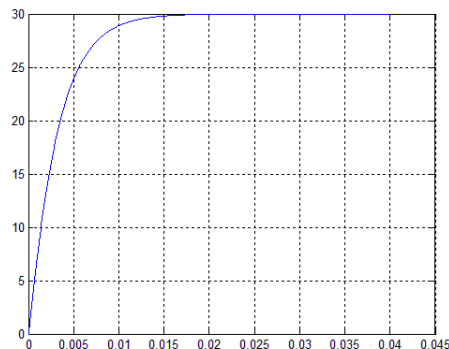


Рисунок 8 График зависимости  $u_C(t)$

II. Изменим величину  $R_3 = 5$  Ом.  
Получим графики на рис. 9 и рис. 10.

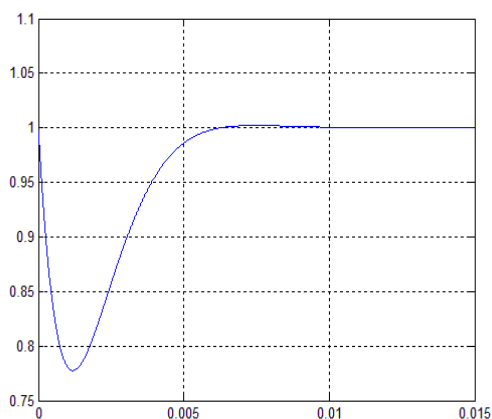


Рисунок 9 График зависимости  $i_L(t)$

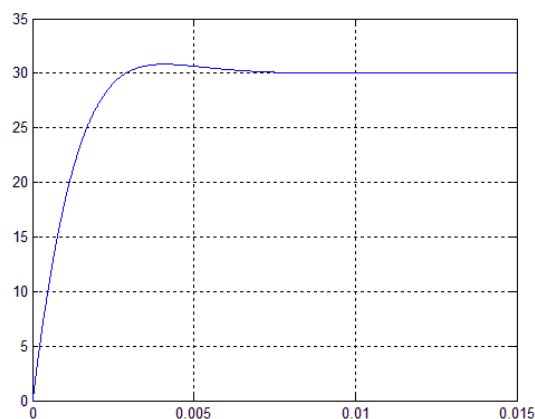


Рисунок 10 График зависимости  $u_C(t)$

Изменения тока  $i_L$  и напряжения  $u_C$  для обоих значений сопротивления  $R_3$  соответствуют ожидаемым значениям.

**Выводы.** В работе исследуется эффективность замещения реактивных элементов их дискретными активно-резистивными моделями. Схема при этом становится активно-резистивной и ее расчет сводится к решению системы алгебраических уравнений. Таким

образом, исключается необходимость составления и решения системы дифференциальных уравнений цепи.

#### Литература

1. Чуа Л. О., Лин Пен-Мин Машинный анализ электронных схем. М.: Энергия, 1980.

УДК 621.317.757

## УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Данильчук В.В., Кулинка Е.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

В общем случае обратную связь (ОС) можно определить, как связь выходной цепи усилителя с его входной цепью. Она образуется тогда, когда усиленный сигнал с выхода отдельного каскада усилителя или усилителя в целом передается на его вход через цепи, дополнительно вводимые для этого (внешняя ОС) или уже имеющиеся в нем для выполнения других функций (внутренняя ОС). К последним, например, относятся общая цепь источника питания усилителя, межэлектродные емкости в электронных приборах.

Часть усиленного внешнего сигнала с выхода усилителя (прямая цепь передачи сигналов) поступает по цепи ОС на его вход и складывается там с внешним сигналом. При таком сложении амплитуд сигналов (внешнего и ОС) на входе усилителя возможны два принципиально отличных по конечному действию случая: либо сумма амплитуд сигналов больше амплитуды внешнего сигнала, либо меньше его. В первом случае говорят о ПОС (положительной обратной связи), во втором – об ООС (отрицательной ОС). Напряжение ОС, снимаемое с выхода усилительного каскада и подаваемое на вход цепи ОС, можно получить несколькими способами в зависимости от схемы присоединения цепи ОС к выходной цепи каскада. Различают следующие способы снятия ОС: по напряжению, по току и смешанную, или комбинированную.

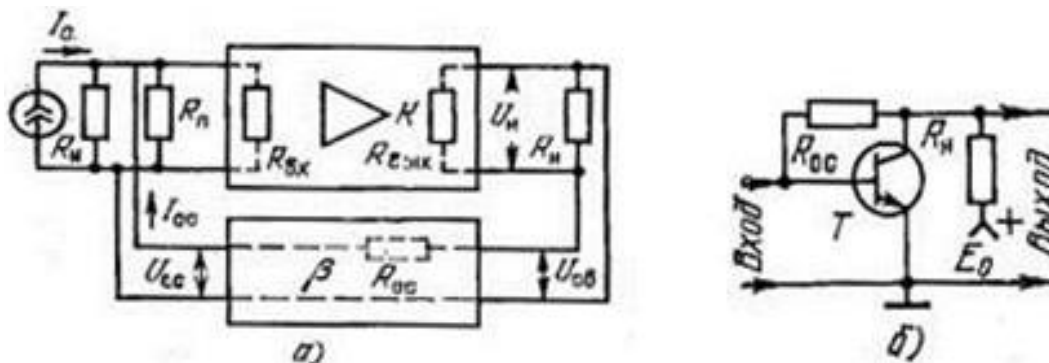


Рисунок 1. Параллельная обратная связь по напряжению

На рис. 1 – 5 показаны структурные и принципиальные схемы каскада усиления с различными способами присоединения цепи ОС. На рис. 1, а вход цепи ОС подключен параллельно сопротивлению нагрузки  $R_n$ . В этой схеме напряжение на входе цепи ОС  $U_{св}$  равно выходному напряжению  $U_n$  (на нагрузке  $R_n$ ) усилительного каскада. Таким образом, создается ОС по напряжению.

На рис. 2, а напряжение на вход цепи ОС  $U_{св}$  поступает с резистора  $R_T$ , включенного последовательно с сопротивлением нагрузки  $R_n$  (один конец резистора  $R_T$  подключен к выводу от электрода, общего для входной и выходной цепей УУ (усилительного устройства)). Это напряжение ОС пропорционально току  $I_{св}$ , протекающему по  $R_n$  и  $R_T$ . Так образуется ОС по току.

Кроме рассмотренных способов получения входного напряжения ОС (со стороны выхода усилительного каскада), различают аналогичные способы введения напряжения ОС с выхода цепи ОС на вход каскада усиления: либо сложением напряжений сигналов входного  $U_c$  и на выходе цепи ОС  $U_{ос}$ , либо сложением токов  $I_c$  и  $I_{ос}$ , пропорциональных этим напряжениям, на общем входном сопротивлении каскада (см. рис. 1, а).

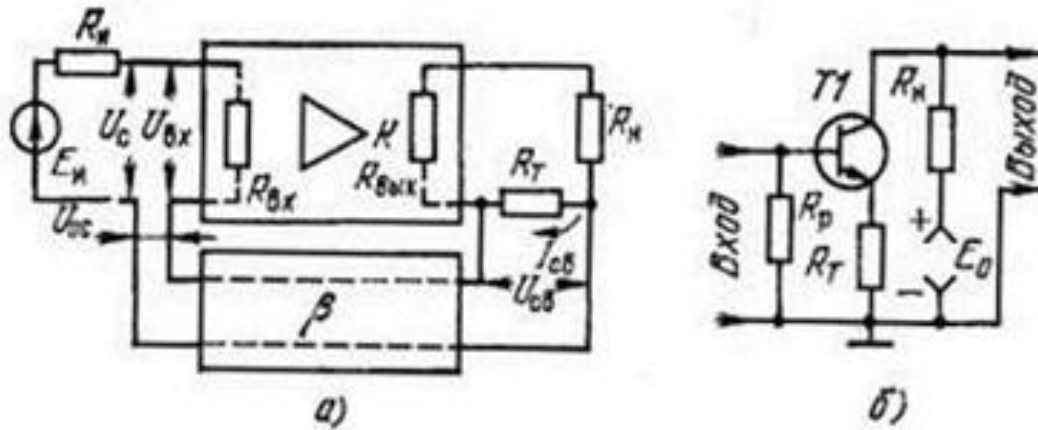


Рис. 2. Последовательная обратная связь по току

При последовательном соединении источника входного сигнала, выхода цепи ОС и входа УУ образуется последовательная ОС (рис. 2,а), а при параллельном их соединении – параллельная ОС (см. рис. 1,а). Таким образом, с точки зрения схемного построения усилителей с ОС можно различить следующие четыре простых вида ОС. Каждый из них позволяет в зависимости от различия или совпадения полярностей входного сигнала и сигнала на выходе цепи ОС получить либо ООС, либо ПОС.

Параллельная ОС по напряжению (см. рис. 1,а) образуется при параллельном соединении входа и выхода через цепь ОС. Принципиальная схема транзисторного каскада усиления с параллельной ОС по напряжению, образуемой резистором  $R_{ос}$ , приведена на рис. 1,б. Для этого вида ОС характерно уменьшение ее действия с уменьшением сопротивлений нагрузки, источника сигнала, входного сопротивления УУ и полное ее прекращение при коротком замыкании выхода или входа каскада.

Последовательная ОС по току (рис. 2,а) образуется при последовательном соединении входа и выхода через цепь ОС. На рис. 5.2,б показана принципиальная схема транзисторного каскада усиления с последовательной ОС по току. Ее действие уменьшается с увеличением сопротивлений нагрузки и источника сигнала, с уменьшением сопротивления резистора  $R_T$  и входного сопротивления УУ.

Возможны и гибридные соединения цепи ОС с каскадом усиления. В первом из них вход цепи ОС подсоединен последовательно к выходу каскада, а ее выход – параллельно входной цепи каскада. Так получается параллельная ОС по току (рис. 3,а). Принципиальная схема транзисторного каскада усиления с таким видом ОС приведена на рис. 3,б. Этот вид ОС характеризуется тем, что с уменьшением сопротивлений источника сигнала, входного сопротивления УУ и увеличением сопротивления нагрузки  $R_n$  ее действие уменьшается, а при коротком замыкании на входе или холостом ходе на выходе каскада – прекращается.

Другое гибридное соединение, при котором вход цепи ОС подсоединен параллельно выходу каскада, а выход цепи ОС – последовательно к входной цепи каскада, образует последовательную ОС по напряжению (рис. 4,а). Иллюстрирующая ее принципиальная схема приведена на рис. 4,б. С увеличением сопротивления источника сигнала и уменьшением сопротивлений входного и нагрузки  $R_n$ , ее действие уменьшается, а в режиме холостого хода на входе и короткого замыкания на выходе каскада она перестает действовать.



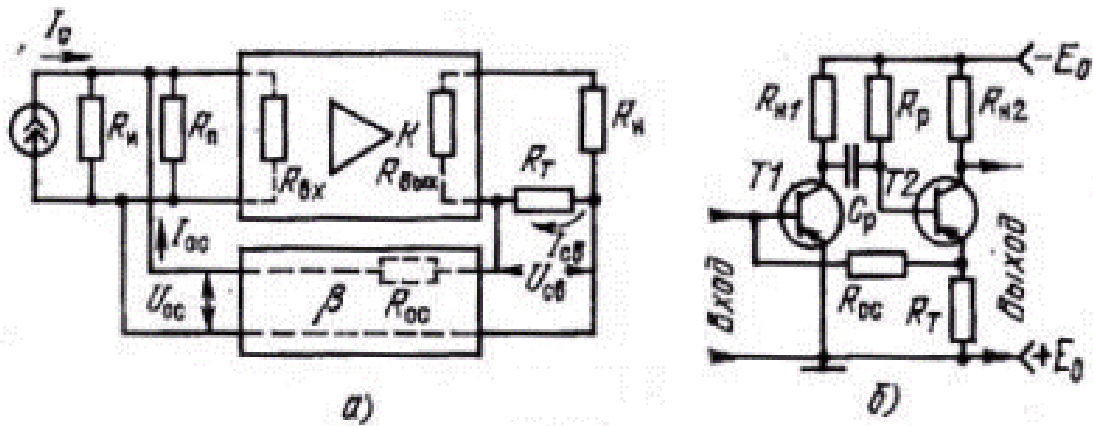


Рисунок 3. Параллельная обратная связь по току

При подключении входа цепи ОС к нагрузке  $R_H$  и резистору  $R_T$ , как это показано на рис. 5, напряжение на входе цепи ОС образуется одновременно под действием части напряжения на концах  $R_H$ , снимаемого с концов резистора  $R_{oc2}$  делителя напряжения из резисторов  $R_{oc1}$  и  $R_{oc2}$ , и тока, протекающего в цепи нагрузки и по  $R_T$ . Таким способом получается смешанная (комбинированная) ОС по выходу.

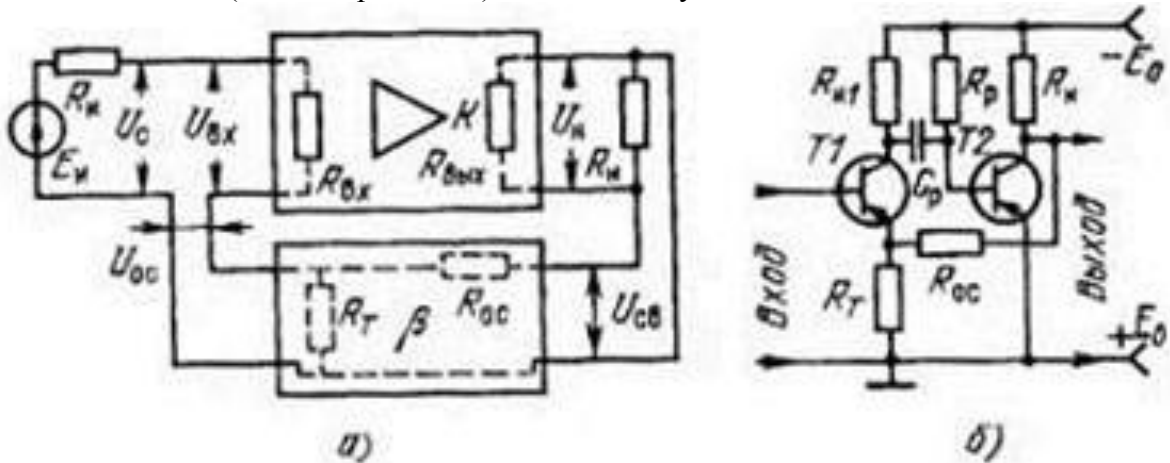


Рисунок 4. Последовательная обратная связь по напряжению

Аналогично получается комбинированная ОС по входу (рис. 5).

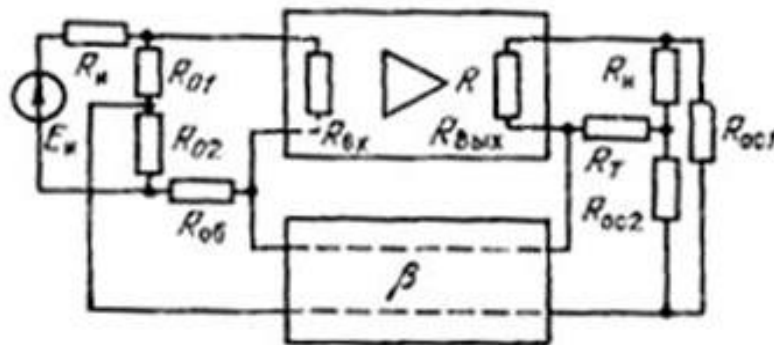


Рисунок 5. Комбинированная обратная связь

Смешанная ОС по одной из цепей (входной или выходной), а тем более по обеим цепям одновременно сравнительно редко применяется на практике. Это вызвано тем, что этот вид ОС достаточно сложен в настройке, а также и тем, что ОС по напряжению и ОС по току, одновременно входящие в этот вид ОС, изменяют свойства усилительного каскада противоположно, взаимно ослабляя действие друг друга.

В усилителях с ОС напряжение на входе усилительного каскада изменяется за счет действия цепи ОС и, следовательно, изменяется начальный (до введения ОС) коэффициент усиления. Как происходит это изменение, можно проследить на примере схемы последовательной ОС по напряжению (см. рис. 4,а) с пассивной цепью ОС.

Поданное на вход усилителя с ОС напряжение от внешнего источника сигнала  $E_H$  ослабляется в  $a$  раз, а затем усиливается в  $K$  раз и выделяется на сопротивлении нагрузки  $R_H$ . Так как цепь ОС непосредственно присоединена к выходу усилительного каскада, то напряжение на ее входе равно выходному напряжению каскада  $U_{\text{ВЫХ}} = U_H$ . Тогда напряжение на выходе цепи ОС:

$$U_{\text{ОС}} = \pm\beta U_{\text{ВЫХ}} \quad (1)$$

и называется напряжением ОС. Иначе говоря, выходное напряжение, измененное в  $\beta$  раз, возвращается обратно на вход каскада.

В зависимости от разности фаз внешнего сигнала и сигнала на выходе цепи ОС, фаза которого по отношению к внешнему сигналу может изменяться при прохождении по петле ОС, коэффициент  $\beta$  принимает различный знак. Так, при разности фаз, равной  $0^\circ$  (ПОС – положительная обратная связь) он принимает положительный знак и изменяет свое значение от 0 до +1, а при разности фаз, равной  $180^\circ$  (ООС – отрицательная обратная связь), знак его отрицательный и значение изменяется от 0 до -1.

Так как напряжение на входе усилительного каскада складывается из напряжения внешнего источника и напряжения ОС, в общем случае уменьшенных в  $a$  раз, то, получаем

$$U_{\text{ВХ}} = aE_u + a(\pm\beta U_{\text{ВЫХ}}),$$

откуда  $aE_u = U_{\text{ВХ}} - a(\pm\beta U_{\text{ВЫХ}})$ .

Подставив значение  $E_u$  в  $K_{\text{СКВ}} = \frac{KU_{\text{ВХ}}}{E_u}$  и разделив числитель и знаменатель на  $U_{\text{ВХ}}$ , получим

$$K_{\text{СКВ.ОС}} = \frac{a}{1 - (\pm\beta a U_{\text{ВЫХ}}) / U_{\text{ВХ}}} \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

Тогда в окончательном виде выражение для сквозного коэффициента усиления каскада с ОС

$$K_{\text{СКВ.ОС}} = \frac{K_{\text{СКВ}}}{1 - (\pm\beta K_{\text{СКВ}})} \quad (2)$$

Знак при произведении  $\beta K_{\text{СКВ}}$ , называемом коэффициентом петлевого усиления, совпадает со знаком, соответствующим положительной или отрицательной ОС. Поэтому выражение (2) перепишем в виде для ПОС

$$K_{\text{СКВ.ОС}} = \frac{K_{\text{СКВ}}}{1 - \beta K_{\text{СКВ}}}, \quad (3)$$

для ООС

$$K_{\text{СКВ.ОС}} = \frac{K_{\text{СКВ}}}{1 + \beta K_{\text{СКВ}}} = \frac{K_{\text{СКВ}}}{F_{\text{СКВ}}}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) определяют изменение усиления от введения ОС и зависимость свойств усилителя от параметров цепи ОС. Они являются основными для расчета усилителей с любым видом ОС (в зависимости от способа введения и снятия ОС изменяется только формула определения коэффициента ОС). Знаменатель выражения (4)

$F_{\text{СКВ}} = 1 + \beta K_{\text{СКВ}}$  показывает, на сколько изменяется сквозной коэффициент усиления каскада при введении ОС, и называется глубиной ОС. От его абсолютного значения, как это будет показано далее, существенно зависят все основные параметры усилителя, изменяясь пропорционально ему. При расчетах обычно задаются первоначальным значением  $F_{\text{СКВ}}$  от 2

до 4. При  $F_{СКВ} < 2$  ОС сравнительно мало влияет на свойства усилителя, а при  $F_{СКВ} > 4$  значительно уменьшается первоначальный коэффициент усиления.

Так как для усилителей на ПТ  $K_{СКВ} = K$ , то соотношение (5.3) и (5.4) соответственно принимают вид

$$K_{ОС} = \frac{K}{1 - \beta K} \quad (5)$$

и

$$K_{ОС} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{K}{F}, \quad (6)$$

где  $K_{ОС}$  – коэффициент усиления каскада на ПТ с ОС;  $F$  – глубина ОС.

#### Литература

1. [http://life-prog.ru/1\\_38998\\_obratnaya-svyaz-v-usilitelyah-klassifikatsiya-osn-sootnosheniya.html](http://life-prog.ru/1_38998_obratnaya-svyaz-v-usilitelyah-klassifikatsiya-osn-sootnosheniya.html)
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (2000)

УДК 621.3

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ НАЛОЖЕНИЯ

Панюцкая Е.И., Мазуров Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горошко В.И.

Стандартно уравнения состояния получают из системы уравнений по законам Кирхгофа. Гораздо эффективнее получить уравнения состояния можно заменяя каждый реактивный элемент согласно теоремам замещения: индуктивности – источником тока, а емкости – источником напряжения. Затем применяя метод наложения, получаем уравнения для каждой цепи с одним источником.

Для емкости уравнение нужно записать в следующем виде:

$$i_c = f_1(u_c, i_L, e, J) \tag{1}$$

Для индуктивности в уравнение следует получить уравнение:

$$u_L = f_2(u_c, i_L, e, J) \tag{2}$$

Таким образом, в правой части должны быть только переменные состояния  $u_c, i_L$  и задающие параметры источников  $e, J$ .

Поскольку  $i_c = C \times u'_c, u_L = L \times i'_L$ , то деля уравнение (1) на  $C$ , а уравнение (2) на  $L$  получаем уравнения состояния:

$$u'_c = \frac{1}{C} f_1(u, i_L, e, J) \tag{3}$$

$$i'_L = \frac{1}{L} f_2(u_c, i_L, e, J) \tag{4}$$

Эти уравнения содержат коэффициенты матриц  $A, B$ .

Проиллюстрируем эту методику получения уравнений состояния для цепи на рис. 1

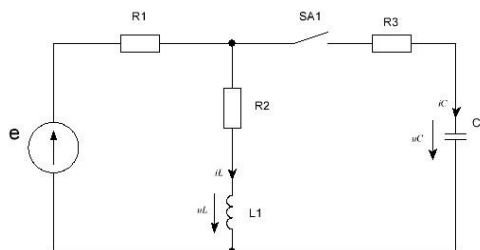


Рисунок 1

$$u'_c = A_{11} \cdot u_c + A_{12} \cdot i_L + B_1 \cdot E$$

$$i'_L = A_{21} \cdot u_c + A_{22} \cdot i_L + B_2 \cdot E$$

Задача №1

Дано:  $L=0,005$  Гн;  $C=5 \cdot 10^{-5}$  Ф;  $R_1=20$  Ом;  $R_2=30$  Ом;  $R_3=5$  Ом.

Решение: заменяем каждый реактивный элемент согласно теоремам замещения: индуктивности – источником тока, а емкости – источником напряжения. Получаем схему на рис. 2.

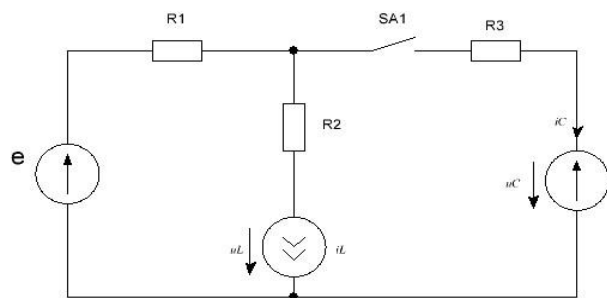


Рисунок 2

Используя программу MathCAD решим данную задачу:

$$a11 := \frac{-1}{(R2 + R3) \cdot C} = -250 \quad a12 := \frac{R2}{(R2 + R3) \cdot C} = 7.5 \times 10^3 \quad b1 := 0$$

$$a21 := \frac{1}{(R2 + R3) \cdot L} = 0.25 \quad a22 := \frac{-R2 - (R1 + R2) \cdot (R2 + R3)}{(R2 + R3) \cdot L} = -1.008 \times 10^3 \quad b2 := \frac{1}{L}$$

$$end := 500 \cdot 10^{-3} \quad t := 0, 10^{-4} .. end \quad h := 0.1$$

$$\frac{d}{dt} uc(t) = uc(t) \cdot a11 + il(t) \cdot a12 + E \cdot b1$$

$$\frac{d}{dt} il(t) = uc(t) \cdot a21 + il(t) \cdot a22 + E \cdot b2$$

$$uc(0) = -30 \quad il(0) = 1$$

$$X := \begin{pmatrix} -30 \\ 1 \end{pmatrix} \quad D(t, x) := \begin{pmatrix} x_0 \cdot a11 + x_1 \cdot a12 + E \cdot b1 \\ x_0 \cdot a21 + x_1 \cdot a22 + E \cdot b2 \end{pmatrix}$$

$$F := \text{rkfixed}(X, 0, 0.5, 1000, D)$$

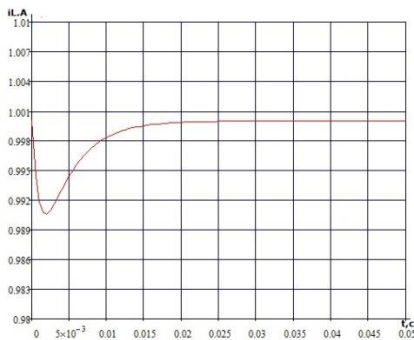


Рисунок 3

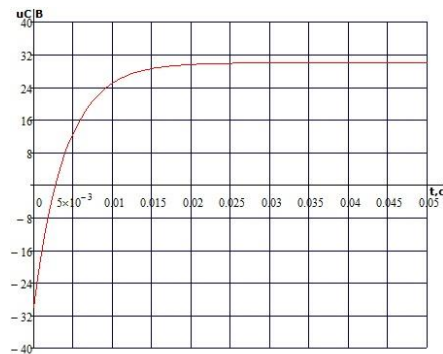


Рисунок 4

На рис. 3 представлен график зависимости  $i_L$  от времени  $t$ , на рис. 4 –  $u_C$  от  $t$ .

Задача 2.

В условии к задаче №2 изменяем только  $R_3 = 50\text{Ом}$ .

Используя решение задачи №1 получаем следующие графики – рис. 5 -  $i_L$  от времени  $t$ , рис. 6 -  $u_C$  от  $t$ .

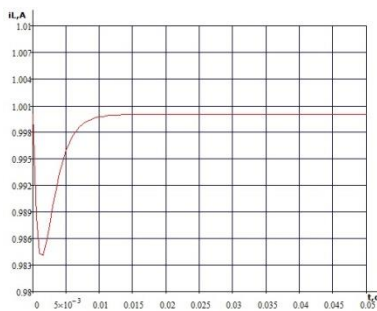


Рисунок 5

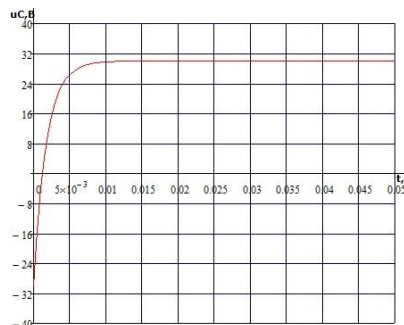


Рисунок 6

Для цепей достаточно высокого порядка к рассмотренной методике целесообразно добавить метод наложения.

$$X = \text{col}(u_{C1}, u_{C2}, u_{C3}, i_{L1}, i_{L2})$$

Описанная методика эффективна и для анализа сложных цепей, например на рис.7.

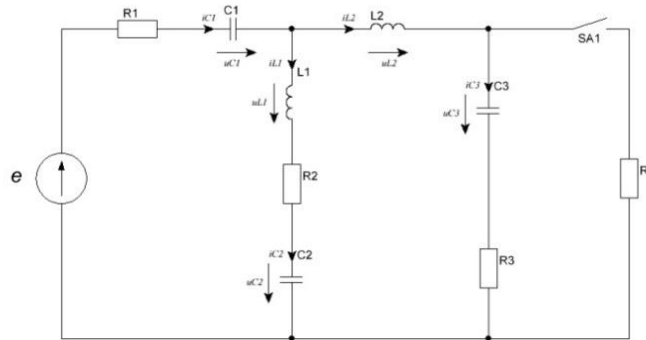


Рисунок 7

В результате получим такую систему уравнений:

-	-	$U_{C1}$	$U_{C2}$	$U_{C3}$	$i_{L1}$	$i_{L2}$	$e$
$U'_{C1}$	$\frac{I_{C1}}{C_1}$	0	0	0	$\frac{1}{C_1}$	$\frac{1}{C_1}$	0
$U'_{C2}$	$\frac{I_{C2}}{C_2}$	0	0	0	$\frac{1}{C_2}$	0	0
$U'_{C3}$	$\frac{I_{C3}}{C_3}$	0	0	$\frac{-1}{(R_3 + R_4) \cdot C_3}$	0	$\frac{-R_4}{(R_3 + R_4) \cdot C_3}$	0
$I'_{L1}$	$\frac{U_{L1}}{L_1}$	$\frac{-1}{L_1}$	$\frac{-1}{L_1}$	0	$\frac{-(R_1 + R_2)}{L_1}$	$\frac{-R_1}{L_1}$	$\frac{1}{L_1}$
$I'_{L2}$	$\frac{U_{L2}}{L_2}$	$\frac{-1}{L_2}$	0	$\frac{-R_4}{(R_3 + R_4) \cdot L_2}$	$\frac{-R_1}{L_2}$	$\frac{(R_1 + R_4 \cdot R_3)}{(R_3 + R_4) \cdot L_2}$	$\frac{1}{L_2}$

Для которой матрицы A и B имеют вид:

A=	0	0	0	1	1
	0	0	0	1	0
	0	0	$\frac{-1}{(R_3 + R_4)}$	0	$\frac{R_4}{(R_3 + R_4)}$
	-1	-1	0	$-(R_1 + R_2)$	$-R_1$
	-1	0	$\frac{R_4}{(R_3 + R_4)}$	$-R_1$	$\frac{-(R_1 + R_4 \cdot R_3)}{(R_3 + R_4)}$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

**Выводы:**

В докладе показана эффективность получения уравнений состояния с помощью метода наложения. Все реактивные элементы предварительно заменяются соответствующими источниками. Для цепей низкого порядка эта методика не дает существенного выигрыша в объеме преобразований. Однако для цепей более высокого порядка (начиная с третьего) эффективность метода высока и растет с повышением порядка цепи.

**Литература:**

1. Основы теории линейных цепей. Под ред. П.А. Ионкина. Учебник. М., «Высш. школа», 1976

УДК 621.833

## АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЛЕБЁДКИ

Прупас В.А., Ситкевич С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Згаевская Г.В.

**Автомобильная лебёдка** — механизм, закрепленный на автомобиле и предназначенный для его перемещения путем наматывания троса, свободный конец которого зацеплен за неподвижный предмет — хорошо закреплённый или значительно большей массы.

Существует 3 типа автомобильных лебёдок: электрические, с питанием от автомобильного аккумулятора; механические; гидравлические.

**Конструкция электралебёдки:** представляет собой барабан для намотки троса, оснащенный тормозным механизмом. С одной стороны, к барабану крепится электродвигатель, с другой стороны – редуктор, необходимый для увеличения и передачи тягового усилия. Обычно возле редуктора располагается рычаг сцепления с предохранителем, предназначенный для отключения барабана от привода и ручного разматывания троса.

Управление всем этим механизмом выполняется посредством блока реле. Он, в свою очередь, может быть съёмным или монтироваться на корпусе лебедки. Съёмный блок можно установить в любом удобном месте автомобиля.

**Плюсы электрической лебёдки:** большой коммутируемый ток; малый размер и вес; удобство установки; возможность управления из салона; герметичность; надёжная защита корпуса на "пробой"; надёжность самой электроники.

**Двигатель.** Устройство электродвигателя несложное и особенно разбираться там не с чем. Единственным важным моментом именно автомобильного использования является возможность вращения ротора двигателя в обоих направлениях для реализации смотки и намотки троса на барабан. Для этого на корпус двигателя выведено не два, а три силовых контакта. Смена «прямого» подключения на «обратное» осуществляется в блоке соленоидов. Вращается ротор электромотора в двух шарикоподшипниках, один из которых впрессован в крышку мотора или напрессован непосредственно на вал, а второй впрессован в моторную стойку. Разборке это не мешает, так как при откручивании двух болтов корпус двигателя с ротором легко выходит из «второго» подшипника.

**Реле Грюнера.** Дистанционно управляемое поляризованное (изменение состояния вкл/выкл кратковременной подачей напряжения на управляющий контакт) электромагнитное реле на 12V, коммутирующее в зависимости от необходимости либо плюсовую шину либо массу. Долговременный коммутируемый ток 300А, пиковая кратковременная нагрузка 1000А. Реле выполнено в полностью герметичном корпусе небольшого размера 76x30x20мм, весом 90г. Силовые контакты реле позволяют подключить провода сечением вплоть до 50мм<sup>2</sup>. Реле изготовлено в Германии компанией GRUNER, занимающей лидирующее положение среди производителей поляризованных реле.



УДК 621.397.13.037.37

## ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА ЗВУКА В ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЯХ С НЕКОТОРЫМИ РАСПРОСТРАНЕННЫМИ ВИДАМИ ЛАМП

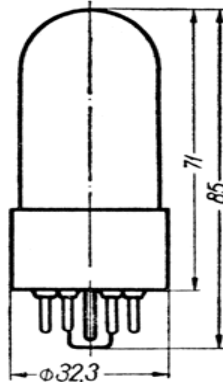
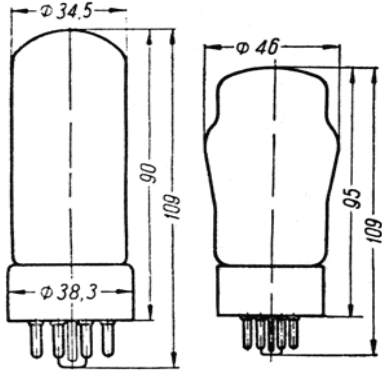
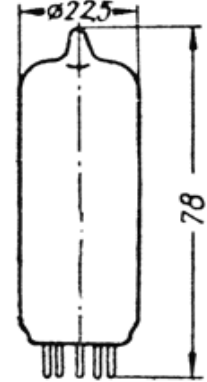
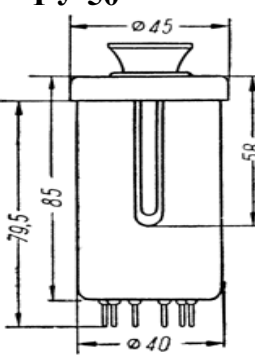
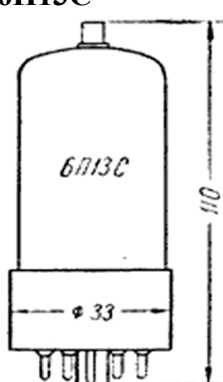
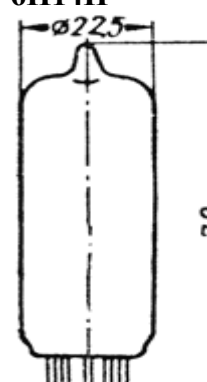
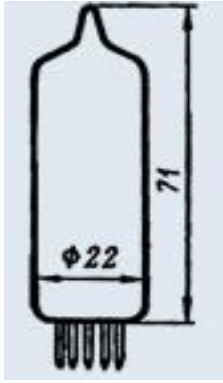
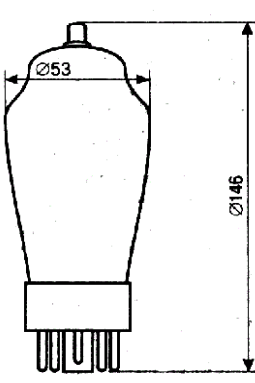
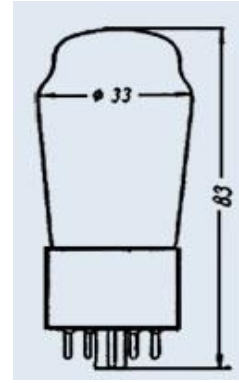
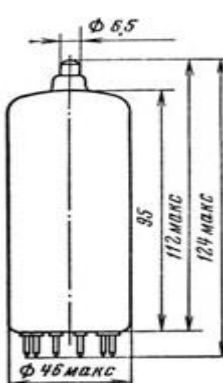
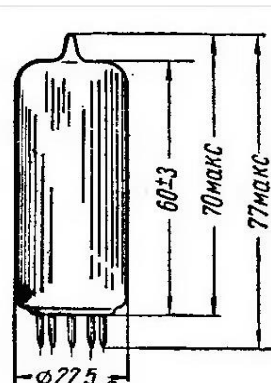
Мудрый В.В, Батайчук А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

В технической литературе в вопросах, касаемых ламповых усилителей мощности, всегда говорится о выходном трансформаторе, как об одном из важнейших компонентов усилителя. Однако крайне редко упоминается о методах, приемах, полезных при создании выходного трансформатора. Полезно указать технологические приемы, позволяющие существенно улучшить звучание трансформатора, а также устранить влияние на него воздействия внешних магнитных полей или улучшить уже готовые трансформаторы. Почему ламповые усилители стоят так дорого, хотя ими не озвучить стадион? Дело здесь не в выходной мощности, а в верности воспроизведения. Чаще всего это двухтактные схемы, работающие в классе А, либо просто однотактные схемы, которые, как известно, работают исключительно в классе А (в редких случаях А2 с токами сетки). В таком классе оконечный каскад потребляет немалый ток, и его КПД ограничивается в лучшем случае 10-15% от полной потребляемой мощности. Поэтому в подобных усилителях нужен солидный силовой трансформатор. Учитывая мощность, уходящую на накал ламп нетрудно подсчитать, что для стереоусилителя с выходной мощностью 5-10 Вт на канал, работающий в классе А в качестве силового понадобится трансформатор вроде ТС-180. На нем при помощи транзисторного или микросхемного тракта можно собрать и приличный 100-ваттный усилитель, но лампы дают более живой и реалистичный звук по сравнению со своими полупроводниковыми собратьями. Наверное, каждый радиолюбитель слышал мнения о превосходстве ламповой усилительной аппаратуры над транзисторной, недалеко не каждый мог убедиться в этом сам. Причин этому несколько: не часто можно встретить в наше время ламповые усилители, а главное, чтобы услышать заметное превосходство, нужно воспользоваться высококачественными фонограммами, не испорченными многократной обработкой и перезаписью.

Таблица 1 Характеристики ламповых усилителей

Ламповые усилители	6П6С	6ПЗС	6П14П	ГУ-50
Срок службы, ч	500	500	500	100
Цоколь	октальный с ключом	октальный с ключом	штырьковый с пуговичным дном	выпускается в стеклянном бесцокольном оформлении
Междуэлектродные ёмкости	входная $(9,5 \pm 1,6)$ пФ, выходная $(9,5 \pm 4)$ пФ, проходная не более 0,9 пФ	входная $(11 \pm 2)$ пФ, выходная $(8,2 + 1,5 - 1,4)$ пФ. Проходная не более 1 пФ.	входная 11 пФ. Выходная 7 пФ. Проходная не более 0,2. пФ	входная $(14,0 \pm 1,0)$ пФ, выходная $(9,15 \pm 1,15)$ пФ, Проходная не более 0,1 пФ.
Кол-во штырьков	6	6	9	8

<p><b>6П6С</b></p>  <p>Мощность 1,7-2 Вт</p>	<p><b>6П3С</b></p>  <p>Мощность 2-2,5 Вт</p>	<p><b>6П14П</b></p>  <p>Мощность 1,5-1,7 Вт</p>
<p><b>ГУ-50</b></p>  <p>Мощность 21-25 Вт</p>	<p><b>6П13С</b></p>  <p>Мощность 4 Вт</p>	<p><b>6П14П</b></p>  <p>Мощность 1,5-1,7 Вт</p>
<p><b>6П43П</b></p>  <p>Мощность 2,5 Вт</p>	<p><b>6П7С</b></p>  <p>Мощность 2 Вт</p>	<p><b>6Ф6С</b></p>  <p>Мощность 1,7-2 Вт</p>
<p><b>6П45С</b></p>  <p>Мощность 12 Вт</p>	<p><b>6Ф5П</b></p>  <p>Мощность 2 Вт</p>	

**6П3С** - абсолютно нейтральный звук. Из-за этого многим не нравится. Несмотря на это, линейность лампы и как следствие относительно малый коэффициент нелинейных искажений, вне конкуренции. Плюс к этому, из-за относительно низкого внутреннего сопротивления, мощность однотактного каскада на этой лампе будет около 4 Вт.

**6П3С** - очень "певучая" лампа, специально предназначенная для работы в выходных каскадах УНЧ. Звучание немного окрашено, высокие и низкие частоты на краях звукового диапазона несколько приглушены. Если Вам нравится звучание ламповых приёмников и радиол пятидесятых годов, то это удачный выбор. Мощность каскада на ней 2-2,5 Вт.

**6П14П** - звучит немного резче 6П3С. Лампа пальчиковая и разогревается очень сильно. Многие ламповые телевизоры и радиолы прошлых лет имели в выходном каскаде именно эту лампу. Мощность около 1,5-1,7 Вт.

**6П43П** - лампа очень линейна, звучание достаточно детальное и гармоничное. Недостатков я не заметил. Цоколь - как у 6П14П. Мощность каскада около 2,5 Вт. Звучание выходного каскада значительно лучше, чем на 6П14П.

**6П7С** - по сравнению с 6П3С имеет более прозрачное звучание на высоких частотах. В радиоловительской литературе и на различных форумах лампу 6П7С часто приравнивают к 6П3С. Это несколько не так. 6П7С - это октальный вариант лампы Г-807 и звучит она больше как Г-807, а не как 6П3С. Звучание, с моей точки зрения, немного аналитичное, но в целом - неплохой выбор. Мощность 2 Вт.

**6П6С** - очень хороша по звучанию. Недаром известнейшие производители профессиональных усилителей (Fender, Rickenbacker и т.д.) очень часто применяли её аналог 6V6 GT в выходных каскадах. При использовании этой лампы нужно помнить о том, что из-за более высокого внутреннего сопротивления, не удаётся получить большую выходную мощность, но качество звучания прощает этот недостаток. Мощность однотактного каскада на лампе 6П6С в триодном включении составляет 1,7 - 2 Вт, при очень детальном и "наполненном" звучании. Если Вы не привыкли слушать музыку на большой громкости - смело применяйте эту лампу, она Вас не разочарует.

**6Ф6С** - по сравнению с 6П6С звучит немного прозрачнее на высоких частотах. Но разница едва уловима. Поскольку режимы ламп практически одинаковы, можно отслушать их методом простой замены одной на другую. В остальном, всё что сказано о лампе 6П6С, справедливо и для 6Ф6С. Лампа очень линейна, очень часто её применяют в качестве драйверной для раскачки прямокальных триодов.

**6П45С** - очень мощная лампа. Имеет низкое внутреннее сопротивление и позволяет при использовании соответствующего выходного трансформатора получить до 12 Вт. выходной мощности. Усилитель, выходной каскад которого работает на лампе 6П45С, запросто "расправляется" (в хорошем смысле слова) практически с любыми акустическими системами. Но есть и маленькая "ложечка дёгтя". Для раскачки этой лампы лучше всего применять пентод, например 6Э5П, также не очень удобно и то, что цоколь у неё не стандартный. Звучание усилителя при использовании лампы 6П45С очень мощное и плотное, но, как следствие, присутствует некоторая потеря детальности и прозрачности. В общем - на любителя.

**6Ф3П, 6Ф5П.** Имея такие лампы, можно создать очень компактный аппарат, так как в одном баллоне содержится и триод, и пентод. Мощность усилителя в этом случае 2 Вт, звучание достаточно ровное и детальное. Немного не хватает "напора", зато джаз, соул, ритм энд блюз - очень неплохо.

**ГУ-50** - применение в выходном каскаде, более линейных, чем 6П41С и 6П45С, в триодном включении позволило снизить создаваемые каскадом искажения в 2-3 раза без применения трудоёмкой в настройке ультралинейной схемы. Желательно использовать подобранные по характеристикам лампы. Как правило, лампы, прошедшие военную приемку, взятые из одной серии и из одной упаковки имеют разброс не более 1-2%, но лучше все же это проверить. Звук от ГУ50 более деликатный, лучше проработаны детали и, главное, отлично передается «воздух» и объём, даже при работе с небольшими АС.

### Литература

1. <http://www.olderadio.ru>
2. <http://www.radiolibrary.ru>
3. <http://torgdesign.narod.ru>
4. <http://e-mart.datagor.ru>
5. <http://drkn.ucoz.ru>

## ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПЫ

Жаврид А.В.

Научный руководитель – ассистент Жорова М.И.

В начале XIX века русский физик В.В. Петров открыл явление электрической дуги и указал на возможность использования этого явления в освещении. Первые попытки применения электрической дуги для освещения относятся еще к 40-м годам XIX века. Дуговая лампа с ручным регулированием была создана в 1844 г. французским изобретателем Л. Фуко. В России первая дуговая лампа оригинальной конструкции была создана в начале 50-х годов XIX века инженером А.И.Шпаковским. В 1869 г. русский ученый В. Н. Чиколев продемонстрировал в Москве значительно усовершенствованную дуговую лампу с регулятором, однако эти лампы не получили большого распространения, так как регулятор был весьма сложным механизмом, требовавшим частой чистки и ремонта.

В 1876 г. русский изобретатель П. Н. Яблочков предложил так называемую «электрическую свечу» — дуговой источник света без применявшегося ранее регулятора. Он разместил угли параллельно, а не на одной прямой линии, как это делалось ранее. Таким образом, «свеча» Яблочкова представляла собой два угольных стержня, разделенных прослойкой огнеупорного изолирующего материала, например каолина, гипса и т. п., испаряющегося под действием электрической дуги. Угли в «свече» Яблочкова присоединялись к зажимам источника тока, в результате между ними образовывалась дуга. Яблочков старался усовершенствовать созданный им источник света. Его исследования привели к чрезвычайно важным для электротехники открытиям и изобретениям. Так, он первый для питания осветительных установок вместо постоянного стал применять переменный ток. В Париже его лампочками был впервые освещен магазин «Лувр». Газовые фонари на улицах французской столицы были демонтированы, их повсеместно заменили «свечи Яблочкова». Лампы Яблочкова горели на центральных улицах всех европейских столиц, в залах и ресторанах лучших гостиниц, на аллеях крупнейших парков Европы.

Параллельно с дуговыми лампами разрабатывались лампы накаливания с нитями или спиралями накала. Самая ранняя опытная лампа накаливания со спиралью была создана в 1820 году французом Деларю и представляла собой цилиндрическую трубку с платиновой спиралью и двумя концевыми зажимами для подвода тока. Лампа Деларю не получила широкого применения, так как имела большое количество недостатков.

На протяжении 50 лет после Деларю было сконструировано большое количество электроламп, но все они были крайне несовершенны и не могли конкурировать с широко применявшимся тогда газовым освещением. В 1854 году немец Г. Гёбель разработал первую «современную» лампу: обугленную бамбуковую нить в вакуумированном сосуде.

В 1873 г. А. Н. Лодыгин впервые запатентовал лампу со стержнями накала из ретортного угля и вакуумной колбой в виде шара или цилиндра. Он впервые применил электричество для освещения улицы в Петербурге.

Выдающийся американский техник-изобретатель Т. Эдисон, ознакомившись с устройством ламп Лодыгина, занялся их усовершенствованием. После нескольких лет напряженной работы в 1879 г. Эдисону удалось получить достаточно хорошую конструкцию лампы накаливания вакуумного типа с угольной нитью, а потом с платиновой. Заслуга Эдисона состоит, прежде всего, в том, что он изобрел и создал надсистему для этой лампы и поставил ее производство на поток, что привело к сильному удешевлению стоимости. Он придумал для лампы винтовой цоколь и патрон к ней, изобрел предохранители, выключатели, первый счетчик энергии. Именно с лампочки Эдисона, электрическое освещение стало действительно массовым.

В 1890-х годах А. Н. Лодыгин изобретает несколько типов ламп с нитями накала из тугоплавких металлов. Он предложил применять в лампах нити из вольфрама и

молибдена и закручивать нить накаливания в форме спирали. Первая американская коммерческая лампа с вольфрамовой спиралью впоследствии производилась по патенту Лодыгина.

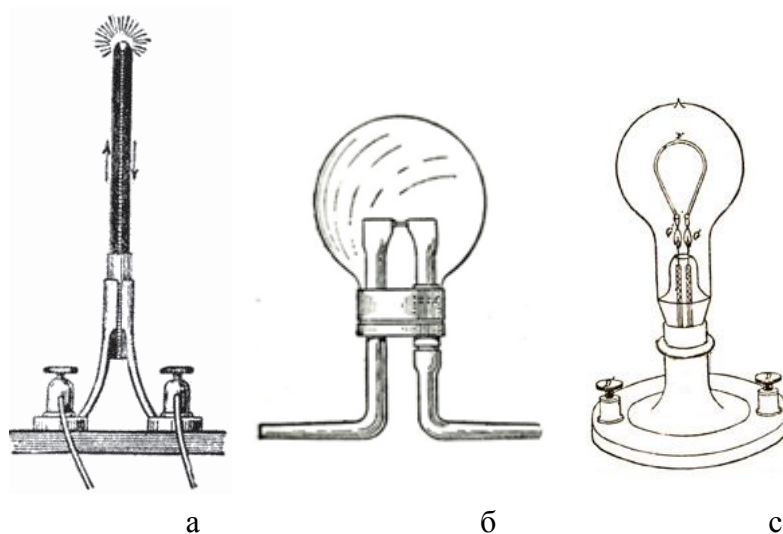


Рис.1: а) «свеча» Яблочкова; б) лампа Лодыгина; в) лампа Эдисона

В 1906 году Лодыгин продаёт патент на вольфрамовую нить компании General Electric.

В 1910 году Вильям Дэвид Кулидж изобретает улучшенный метод производства вольфрамовой нити. Впоследствии вольфрамовая нить вытесняет все другие виды нитей.

Проблема с быстрым испарением нити в вакууме была решена американским учёным, известным специалистом в области вакуумной техники Ирвингом Ленгмюром, который, работая с 1909 года в General Electric, ввёл в производство наполнение колбы ламп инертными, точнее — тяжёлыми благородными газами (в частности — аргоном), что существенно увеличило время их работы и повысило светоотдачу.

Впервые практически использовать аналог сегодняшней лампы дневного света и изыскать из этого коммерческий интерес удалось Даниэлю Фарлану Муру. Первую модель своей лампы он показал общественности в 1895 году (на год раньше Эдисона). В качестве инертного газа в колбе он использовал двуокись углерода (для белого свечения) или азот (для розового). Его лампа была невероятно сложна в конструкции, но уже тогда инженеры заметили ее большую эффективность по сравнению с разрабатываемой лампой накаливания. Почти 9 лет усовершенствований и испытаний привели к тому, что начиная с 1904 года, система освещения Мура стала устанавливаться в магазинах и офисных помещениях.

Использовать в люминесцентной лампе пары ртути впервые предложил Питер Купер Хьюитт в 1901 году. Его лампы были намного эффективнее, как ламп Мура, так и ламп накаливания. Однако сине-зеленый свет свечения ограничил их применение в то время. Хотя в последствие, много лет спустя, именно ртутные лампы стали основой уличного освещения, именно ими оснащались фонарные столбы.

В 1906 году изобретена ртутная лампа высокого давления, а в 1910 году открыт галогенный цикл. В 1911 году французским физиком Жоржом Клауди была разработана неоновая лампа и очень быстро нашла применение в рекламных целях.

Лишь в 1927 году свет увидела люминесцентная лампа — аналог той, что мы используем сейчас. И хотя ее изобретатель Эдмунд Джермер изначально ставил перед собой цель создать управляемый источник ультрафиолетового света, получилось так, что вместе с коллегами Фридрихом Мейером и Гансом Шпаннером он создал второй по популярности источник искусственного света, причем более близкий к естественному, чем популярная в то время лампа накаливания. Исследователи просто покрыли ультрафиолетовую лампу слоем люминофора, и оказалось, что она способна излучать естественный белый и достаточно

яркий свет. В 1934 году патент на изобретения выкупила General Electric. Первые продажи люминесцентных ламп начались лишь в 1938 году, так как на протяжении 4 лет до этого исследовательские бюро компании усиленно изобретали неразрушающийся под действием электрического тока электрод.

Главным недостатком люминесцентных ламп было то, что они имели довольно большие размеры. А это очень ограничивало их использование в бытовых условиях, в то время, как в административных и производственных зданиях они стали широко применяться. Постепенно люминесцентные лампы становились всё меньше и меньше по размеру, пока в восьмидесятые годы прошлого века разработчикам не удалось создать компактную люминесцентную лампу на основе люминофора новой конструкции. Поскольку генерируемый такой лампой свет находится в ультрафиолетовом диапазоне, для преобразования данного излучения в дневной свет, и применяется люминофор, которым покрывается внутренняя поверхность колбы компактной люминесцентной лампы.

Светодиод появился на свет еще в начале шестидесятых, благодаря инженеру General Electric Нику Холоньяку. Тогда разработка показалась очень перспективной, несмотря на то, что светодиод светил только тусклым красным светом. Уже через десять лет появились зеленые и желтые светодиоды, их стали использовать в электронных приборах. С каждым годом эффективность светового потока увеличивалась, значение один люмен было достигнуто к началу девяностых. В 1993 году был изобретен первый синий яркий светодиод. Теперь появляется возможность получить светодиод любого цвета, в том числе и белого (получены все составляющие света - красный, синий и зеленый). К концу девяностых светодиоды занимают место ламп накаливания, в местах, где необходимо окрашенное освещение. Постепенно световой поток достигает ста люменов, у белых светодиодов появляются оттенки "теплый", "холодный", "нейтральный".

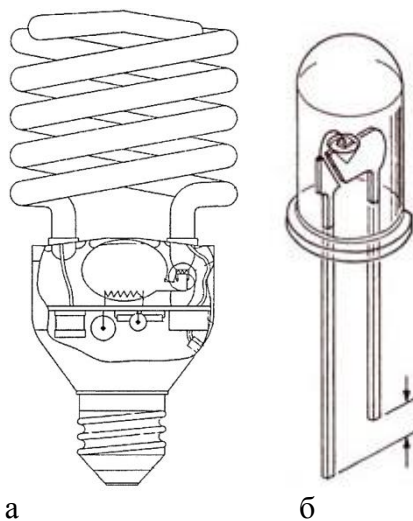


Рисунок 2 а) компактная люминесцентная лампа; б) светодиод

На сегодняшний день специалисты сходятся во мнении, что за светодиодами ближайшее будущее в освещении. Более эффективной и практичной технологии в настоящее время не существует. Однако, учитывая возрастающую потребность человечества в искусственном освещении, можно предположить, что появятся и новые, более эффективные технологии.

## ТРАНЗИСТОРЫ СЕГОДНЯ И ВОЗМОЖНОЕ РАЗВИТИЕ В БУДУЩЕМ

Кот. П.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Если последние 50 лет в электронике использовались исключительно планарные структуры, то отныне в массовом производстве применяемая структура станет трехмерной. Технология, позволившая и дальше следовать закону Мура, получила название Tri-Gate. По значимости этот шаг сопоставим, разве что, с изобретением интегральной схемы транзисторов.

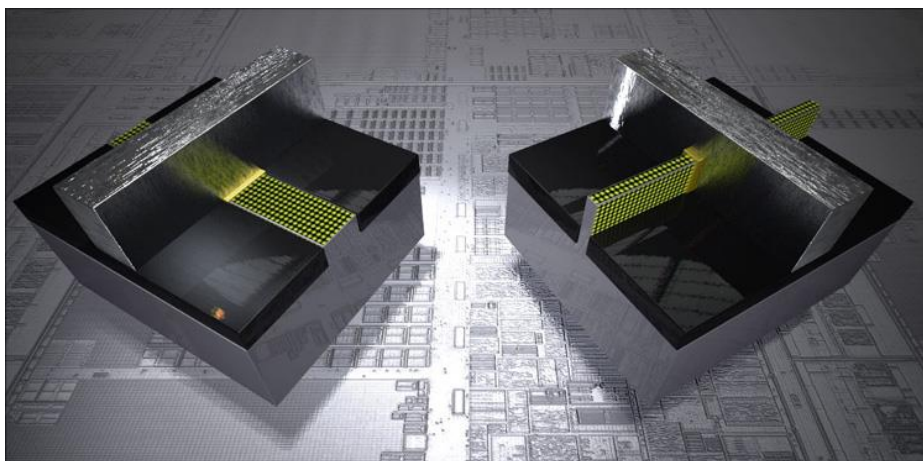
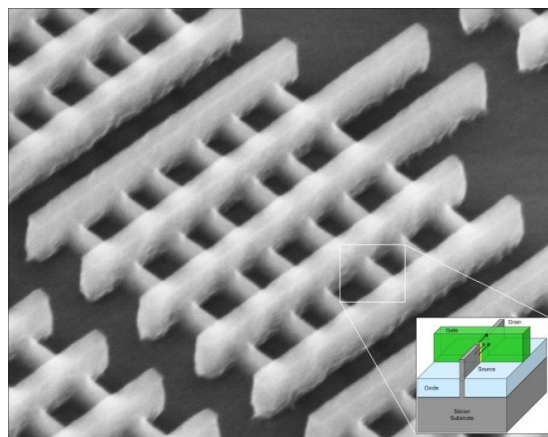
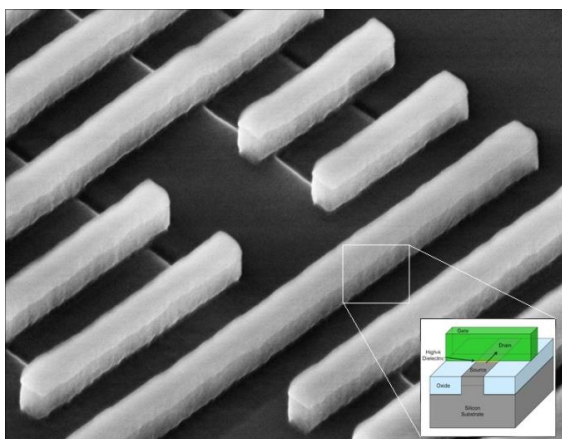


Рисунок 1 Транзисторы

Еще совсем недавно процессор можно было представить в виде листа бумаги, производительность которого зависела от количества ячеек-транзисторов, уместившихся на его площади. Чем больше транзисторов-ячеек на таком листе умещалось, тем выше была производительность. Понятное дело, что бесконечно уменьшать размеры транзисторов нельзя.

Однако в ближайшие годы полупроводниковая промышленность может вздохнуть спокойно и продолжить развитие прежними темпами — сейчас ячейки «можно» располагать в несколько рядов, то есть производительность процессоров будет расти вглубь (ну или ввысь, как в случае с небоскрёбами) и, честно сказать, я даже теряюсь в догадках, почему до этого додумались только сейчас. Впрочем, додумались-то до этого еще в далеком 2002, но именно сегодня речь пошла о массовом воплощении технологии в жизнь.

Ученые давно признают преимущества 3D-структур — в случае с транзисторами, такой подход позволит следовать закону Мура еще достаточно долгое время. Суть новой технологии очевидна (глаз вооружен):



32-нм и Транзистор Tri-Gate,

22-нм

Рисунок 2 Структурная схема транзистора



В традиционной планарной структуре транзистора электрический ток может протекать только по узкой поверхности проводника под затвором. В то время как в трёхмерных транзисторах ток распространяется в толще кремниевого выступа, «прорезающего» затвор.

Результатом такого конструкторского решения является снижение сопротивления транзистора в открытом состоянии, увеличение сопротивления в закрытом и более быстрое переключение между этими состояниями. Вместе с этим стало возможным снижение рабочего напряжения и уменьшение токов утечки. Как следствие — новый уровень энергоэффективности и солидный прирост производительности в сравнении с существующими аналогами. Транзисторы Tri-Gate (изготовленные по технологии 22-нм) демонстрируют почти 40-процентный прирост быстродействия в сравнении с обычными (изготовленными по технологии 32-нм). Это при том, что новые чипы будут потреблять почти вдвое меньше энергии (с той же производительностью), чем их 32-нанометровые братья с двухмерной структурой.

А ведь можно сделать, например, вот так:

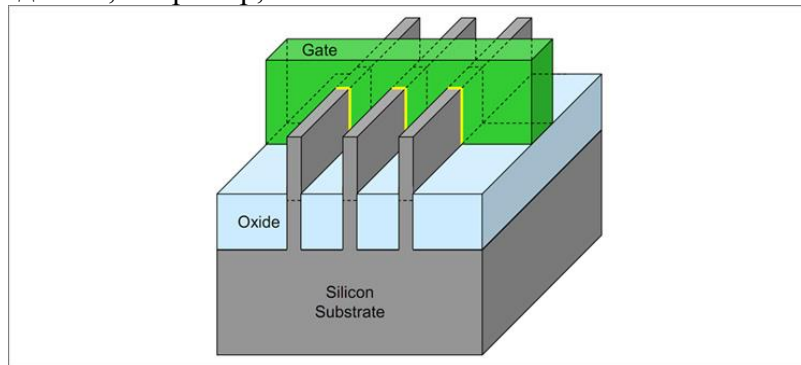


Рисунок 3 Структура Tri-Gate транзистора

Как сказал президент компании Intel Пол Отеллини, В сочетании с материалами, обладающими особой диэлектрической проницаемостью, элементами с металлическими затворами, 3D-транзисторы помогут Intel значительно снизить потребление энергии, стоимость чипа в расчете на один транзистор и существенно поднять производительность. Intel продолжит создавать лучшие в мире продукты во всех областях — от мобильных телефонов до суперкомпьютеров»

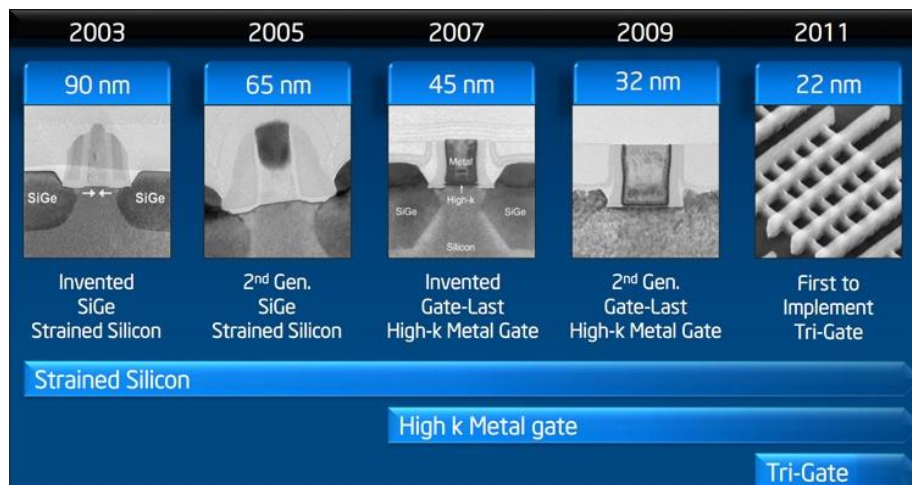


Рисунок 4 История развития транзисторов

Марк Бор, старший почетный исследователь компании:— Новое изобретение не только позволяет впредь следовать закону Мура. Это больше, чем просто переход с одного технологического процесса на другой — новое открытие позволяет конструировать совершенно новые устройства.

Переход на новые трёхмерные транзисторы будет осуществлен вместе с переходом на новую 22-нанометровую технологическую норму, отражающую размер структур интегральных схем. Первым в мире микропроцессором, изготовленным по этой норме, стал чип под кодовым названием Ivy Bridge, предназначенный в первую очередь для настольных компьютеров. Соответственно, процессоры Intel Core под этим кодовым названием станут первыми массовыми чипами с транзисторами Tri-Gate – их массовое серийное производство планируется начать в конце 2011 года. По крайней мере, в плане технического оснащения к этому почти все готово – ведь чипы могут изготавливаться на обычном литографическом оборудовании.

Учёные из университета Пердью пошли дальше, представив 4D транзистор. Исследователи из университета Пердью заявили об успешной замене кремния в транзисторах и открытии пути создания намного меньших структур микросхем, чем позволяют кремниевые полупроводники.

Команда учёных применила арсенид индия-галлия, который в будущем станет важнейшим материалом для производства полупроводников с размерами элементов меньше 10 нм. Изготовленный в университете прототип был сделан по 20 нм техпроцессу.

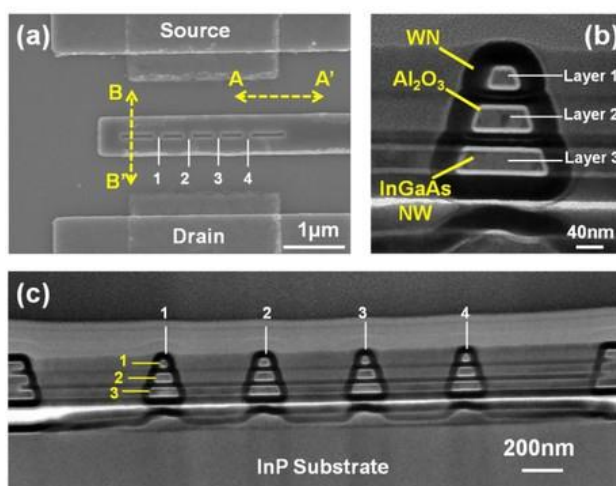


Рисунок 5 Предполагаемая структура 4D транзистора

Согласно объяснению Педэ Е (Peide Ye), профессора по электрике и компьютерному инжинирингу, три проводника арсенида индия-галлия размещаются друг над другом, при этом прогрессивно укорачиваясь кверху. Полученное сужающееся пересечение имеет вид ёлки. А значит, почему бы не назвать получившуюся структуру 4D транзистором? Вот его пояснение:

«Один дом может вмещать множество людей, но чем больше этажей, тем больше и людей, то же самое и с транзисторами. Увеличение их слоёв приводит к большему току и более быстрым операциям для высокоскоростных вычислений. Эта разработка добавляет полностью новое измерение, которое я назвал 4D». Но попридержите коней. Ещё слишком рано радоваться.

Хотя арсенид индия-галлия, на самом деле, довольно интересный материал для уменьшения элементов чипов, как и отметил Е, эта технология покажет себя лишь, когда транзисторы дойдут до 10 нм. В любом случае, будет ли подобный подход применим в будущем, мы знаем, что Закон Мура получил право на дальнейшее существование.

### Литература

1. <http://nvworld.ru/news/forget-about-trigate-invire-4d/>
2. <http://www.dailytechinfo.org/infotech/2374-novye-22-nm-3d-tranzistory-kompanii-intel-obespechat-vypolnenie-zakona-gordona-mura.html>

УДК 004.31 – 181.48

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЦЕССОРОВ**

Лабецкий Д.И.

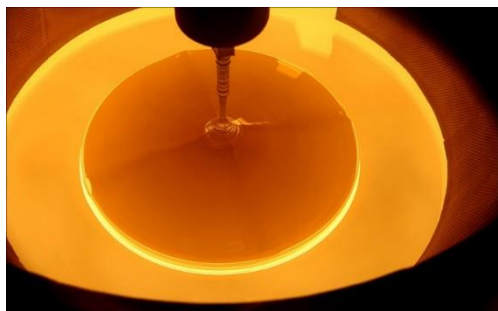
Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Когда фабрика для производства процессоров по новой технологии построена, у нее есть 4 года на то, чтобы окупить вложенные средства (более \$5млрд) и принести прибыль. Из несложных секретных расчетов получается, что фабрика должна производить не менее 100 работающих пластин в час.

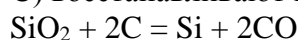
Вкратце процесс изготовления процессора выглядит так: из расплавленного кремния на специальном оборудовании выращивают монокристалл цилиндрической формы. Получившийся слиток охлаждают и режут на «блины», поверхность которых тщательно выравнивают и полируют до зеркального блеска. Затем в «чистых комнатах» полупроводниковых заводов на кремниевых пластинах методами фотолитографии и травления создаются интегральные схемы. После повторной очистки пластин, специалисты лаборатории под микроскопом производят выборочное тестирование процессоров – если все «ОК», то готовые пластины разрезают на отдельные процессоры, которые позже заключают в корпуса.

Уроки химии

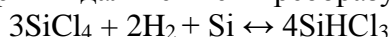
Рассмотрим весь процесс более подробно. Содержание кремния в земной коре составляет порядка 25-30% по массе, благодаря чему по распространённости этот элемент занимает второе место после кислорода. Песок, особенно кварцевый, имеет высокий процент содержания кремния в виде диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и в начале производственного процесса является базовым компонентом для создания полупроводников.



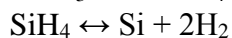
Первоначально берется  $\text{SiO}_2$  в виде песка, который в дуговых печах (при температуре около  $1800^\circ\text{C}$ ) восстанавливают коксом:



Такой кремний носит название «технический» и имеет чистоту 98-99.9%. Для производства процессоров требуется гораздо более чистое сырье, называемое «электронным кремнием» — в таком должно быть не более одного чужеродного атома на миллиард атомов кремния. Для очистки до такого уровня, кремний буквально «рождается заново». Путем хлорирования технического кремния получают тетрахлорид кремния ( $\text{SiCl}_4$ ), который в дальнейшем преобразуется в трихлорсилан ( $\text{SiHCl}_3$ ):



Данные реакции с использованием рецикла образующихся побочных кремнийсодержащих веществ снижают себестоимость и устраняют экологические проблемы:



Получившийся в результате водород можно много где использовать, но самое главное то, что был получен «электронный» кремний (99,9999999%). Чуть позже в расплав такого кремния опускается затравка («точка роста»), которая постепенно вытягивается из тигля. В



результате образуется так называемая «буля» — монокристалл высотой со взрослого человека. Вес соответствующий — на производстве такая дуля весит порядка 100 кг.

Слиток шкурят «нулёвкой» и режут алмазной пилой. На выходе — пластины (кодовое название «вафля») толщиной около 1 мм и диаметром 300 мм (~12 дюймов; именно такие используются для техпроцесса в 32нм с технологией НКMG, High-K/Metal Gate). Когда-то давно Intel использовала диски диаметром 50мм (2"), а в ближайшем будущем уже планируется переход на пластины с диаметром в 450мм — это оправдано как минимум с точки зрения снижения затрат на производство чипов. К слову об экономии — все эти кристаллы выращиваются вне Intel; для процессорного производства они закупаются в другом месте.

Каждую пластину полируют, делают идеально ровной, доводя ее поверхность до зеркального блеска.

Производство чипов состоит более чем из трёх сотен операций, в результате которых более 20 слоёв образуют сложную трёхмерную структуру. Итак. В отшлифованные кремниевые пластины необходимо перенести структуру будущего процессора, то есть внедрить в определенные участки кремниевой пластины примеси, которые в итоге и образуют транзисторы.

#### Фотолитография

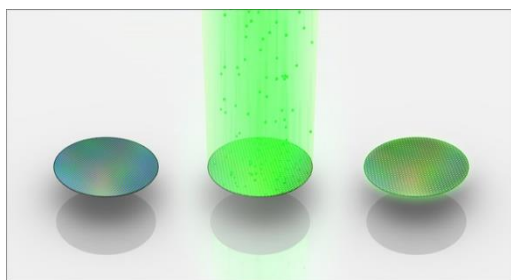
Проблема решается с помощью технологии фотолитографии — процесса избирательного травления поверхностного слоя с использованием защитного фотошаблона. Технология построена по принципу «свет-шаблон-фоторезист» и проходит следующим образом:

— На кремниевую подложку наносят слой материала, из которого нужно сформировать рисунок. На него наносится фоторезист — слой полимерного светочувствительного материала, меняющего свои физико-химические свойства при облучении светом.

— Производится экспонирование (освещение фотослоя в течение точно установленного промежутка времени) через фотошаблон

— Удаление отработанного фоторезиста.

Нужная структура рисуется на фотошаблоне — как правило, это пластинка из



оптического стекла, на которую фотографическим способом нанесены непрозрачные области. Каждый такой шаблон содержит один из слоев будущего процессора, поэтому он должен быть очень точным и практичным.

Иной раз осаждать те или иные материалы в нужных местах пластины просто невозможно, поэтому гораздо проще нанести материал сразу на всю

поверхность, убрав лишнее из тех мест, где он не нужен — на изображении выше синим цветом показано нанесение фоторезиста.

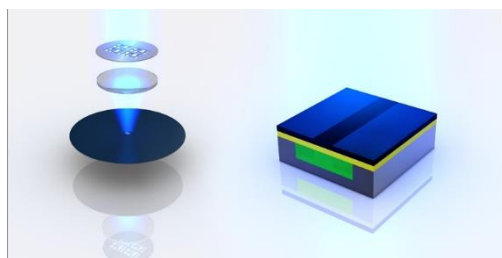
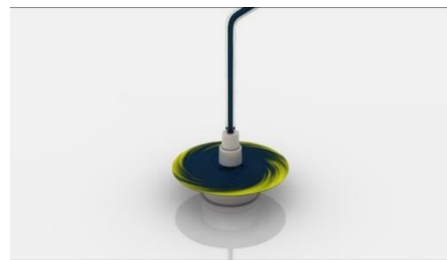
Пластина облучается потоком ионов (положительно или отрицательно заряженных атомов), которые в заданных местах проникают под поверхность пластины и изменяют проводящие свойства кремния (зеленые участки — это внедренные чужеродные атомы).



Как изолировать области, не требующие последующей обработки? Перед литографией на поверхность кремниевой пластины (при высокой температуре в специальной камере) наносится защитная пленка диэлектрика, вместо традиционного диоксида кремния компания Intel стала использовать High-K-диэлектрик. Он толще диоксида кремния, но в

то же время у него те же емкостные свойства. Более того, в связи с увеличением толщины уменьшен ток утечки через диэлектрик, а как следствие – стало возможным получать более энергоэффективные процессоры. В общем, тут гораздо сложнее обеспечить равномерность этой пленки по всей поверхности пластины — в связи с этим на производстве применяется высокоточный температурный контроль.

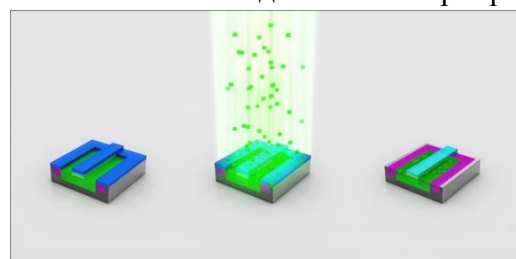
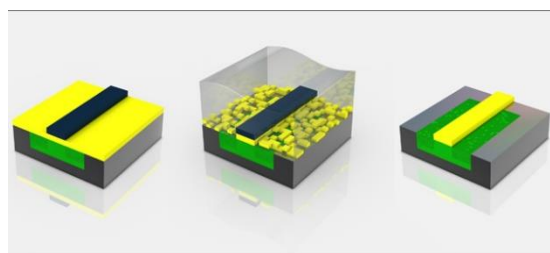
В тех местах, которые будут обрабатываться примесями, защитная пленка не нужна – её аккуратно снимают при помощи травления (удаления областей слоя для формирования многослойной структуры с определенными свойствами). А как снять ее не везде, а только в нужных областях? Для этого поверх пленки необходимо нанести еще один слой фоторезиста – за счет центробежной силы вращающейся пластины, он наносится очень тонким слоем.



В фотографии свет проходил через негативную пленку, падал на поверхность фотобумаги и менял ее химические свойства. В фотолитографии принцип схожий: свет пропускается через фотошаблон на фоторезист, и в тех местах, где он прошел через маску, отдельные участки фоторезиста меняют свойства. Через маски пропускается световое излучение, которое фокусируется на подложке. Для точной фокусировки

необходима специальная система линз или зеркал, способная не просто уменьшить изображение, вырезанное на маске, до размеров чипа, но и точно спроецировать его на заготовке. Напечатанные пластины, как правило, в четыре раза меньше, чем сами маски.

Весь отработанный фоторезист (изменивший свою растворимость под действием облучения) удаляется специальным химическим раствором – вместе с ним растворяется и часть подложки под засвеченным фоторезистом. Часть подложки, которая была закрыта от света маской, не растворится. Она образует проводник или будущий активный элемент – результатом такого подхода становятся различные картины замыканий на каждом слое микропроцессора.



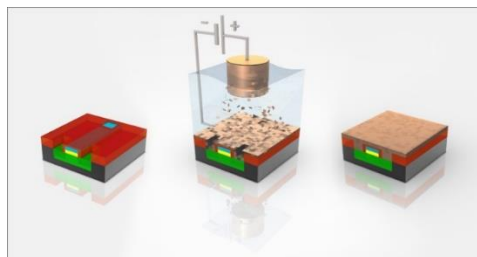
Собственно говоря, все предыдущие шаги были нужны для того, чтобы создать в необходимых местах полупроводниковые структуры путем внедрения донорной (n-типа) или акцепторной (р-типа) примеси. Допустим, нам нужно сделать в кремнии область концентрации носителей р-типа, то есть зону дырочной проводимости. Для этого пластину обрабатывают с помощью устройства, которое называется имплантер — ионы бора с огромной энергией выстреливаются из высоковольтного ускорителя и равномерно распределяются в незащищенных зонах, образованных при фотолитографии.

Там, где диэлектрик был убран, ионы проникают в слой незащищенного кремния – в противном случае они «застревают» в диэлектрике. После очередного процесса травления убираются остатки диэлектрика, а на пластине остаются зоны, в которых локально есть бор. Понятно, что у современных процессоров может быть несколько таких слоев — в таком случае на получившемся рисунке снова выращивается слой диэлектрика и так далее.

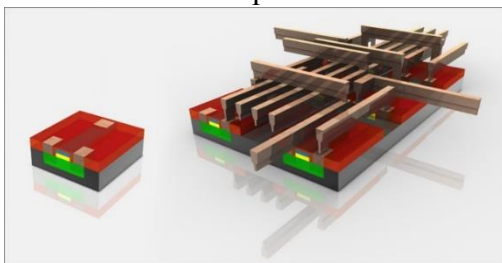
Характерный размер транзистора сейчас — 32 нм, а длина волны, которой обрабатывается кремний — это даже не обычный свет, а специальный ультрафиолетовый эксимерный лазер — 193 нм. Однако законы оптики не позволяют разрешить два объекта,

находящиеся на расстоянии меньше, чем половина длины волны. Происходит это из-за дифракции света. Как быть? Применять различные ухищрения — например, кроме упомянутых эксимерных лазеров, светящих далеко в ультрафиолетовом спектре, в современной фотолитографии используется многослойная отражающая оптика с использованием специальных масок и специальный процесс иммерсионной (погружной) фотолитографии.

Логические элементы, которые образовались в процессе фотолитографии, должны быть соединены друг с другом. Для этого пластины помещают в раствор сульфата меди, в котором под действием электрического тока атомы металла «оседают» в оставшихся «проходах» — в результате этого гальванического процесса образуются проводящие области, создающие соединения между отдельными частями процессорной «логики». Излишки проводящего покрытия убираются полировкой.

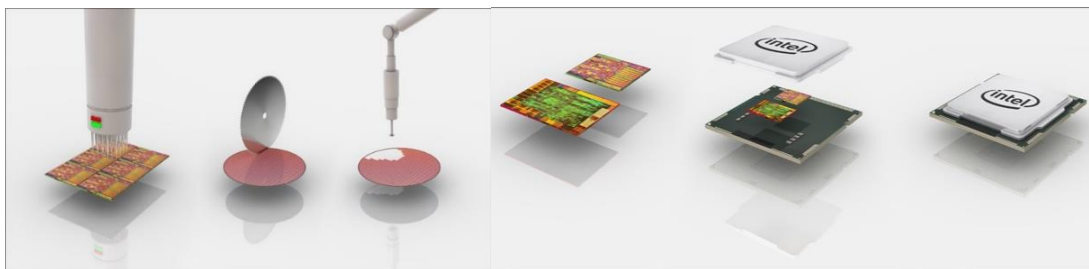


### Финишная прямая

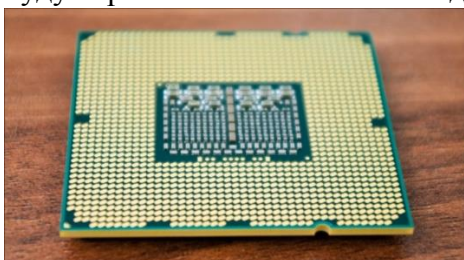


Самое сложное позади. Осталось хитрым способом соединить «остатки» транзисторов — принцип и последовательность всех этих соединений (шин) и называется процессорной архитектурой. Для каждого процессора эти соединения различны — хоть схемы и кажутся абсолютно плоскими, в некоторых случаях может использоваться до 30 уровней таких «проводов».

Когда обработка пластин завершена, пластины передаются из производства в монтажно-испытательный цех. Там кристаллы проходят первые испытания, и те, которые проходят тест (а это подавляющее большинство), вырезаются из подложки специальным устройством.



Подложка, кристалл и теплораспределительная крышка соединяются вместе — именно этот продукт мы будем иметь в виду, говоря слово «процессор». Зеленая подложка создает электрический и механический интерфейс (для электрического соединения кремниевой микросхемы с корпусом используется золото), благодаря которому станет возможным установка процессора в socket материнской платы — по сути, это просто площадка, на которой разведены контакты от маленького чипа. Теплораспределительная крышка является термоинтерфейсом, охлаждающим процессор во время работы — именно к этой крышке будут примыкать система охлаждения, будь то радиатор кулера или здоровый водоблок.



Socket (разъём центрального процессора) — гнездовой или щелевой разъём, предназначенный для установки центрального процессора. Использование разъёма вместо прямого распаивания процессора на материнской плате упрощает замену процессора для модернизации или ремонта компьютера. Разъём может быть предназначен для установки собственно процессора

или CPU-карты (например, в Pegasos). Каждый разъём допускает установку только определённого типа процессора или CPU-карты.

На завершающем этапе производства готовые процессоры проходят финальные испытания на предмет соответствия основным характеристикам – если все в порядке, то процессоры сортируются в нужном порядке в специальные лотки – в таком виде процессоры уйдут производителям или поступят в OEM-продажу. Еще какая-то партия пойдет на продажу в виде BOX-версий – в красивой коробке вместе со стоковой системой охлаждения.



#### Послесловие

Теперь представьте себе, что компания анонсирует, например, 20 новых процессоров. Все они различны между собой – количество ядер, объемы кэша, поддерживаемые технологии. В каждой модели процессора используется определенное количество транзисторов (исчисляемое миллионами и даже миллиардами), свой принцип соединения элементов. И все это надо спроектировать и создать/автоматизировать – шаблоны, линзы, литографии, сотни параметров для каждого процесса, тестирование. И все это должно работать круглосуточно, сразу на нескольких фабриках. В результате чего должны появляться устройства, не имеющие права на ошибку в работе, а стоимость этих технологических шедевров должна быть в рамках приличия. Почти уверен в том, что вы, как и я, тоже не можете представить себе всего объема проделываемой работы, о которой я и постарался сегодня рассказать.

#### Литература

1. <http://arxitektura-pk.26320-004georg.edusite.ru/p36aa1.html>
2. <http://www.intel.com/plt/cd/corporate/emea/rus/museum/chips-demo.swf>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=aCOyq4YzBtY>

## РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Макаров Я.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

В настоящее время на производстве в основном применяются неэкономичные системы дроссельного регулирования расхода воздуха компрессорных установок на стороне нагнетания, КПД турбомеханизма при этом снижается пропорционально регулированию производительности. Наиболее совершенным способом регулирования производительности турбокомпрессоров является изменение скорости их двигателей.

Особенность работы турбокомпрессоров состоит в том, что каждой частоте вращения соответствует определенная критическая подача машины, ниже которой ее работа становится неустойчивой. Причиной неустойчивой работы турбокомпрессоров является повторяющийся срыв потока с рабочих и направляющих лопаток, что приводит к сильным пульсациям давления, открыванию и закрыванию обратного клапана, и возникновению аварийных колебаний в системе. Такой режим называется помпажным. Работа турбокомпрессоров в режимах левее границы помпажа (пунктирная линия на рис. 1) недопустима. Отметим, что с уменьшением частоты вращения область помпажных режимов сокращается, вследствие чего при регулировании путем изменения частоты вращения становится возможной работа турбокомпрессора с пониженной подачей.

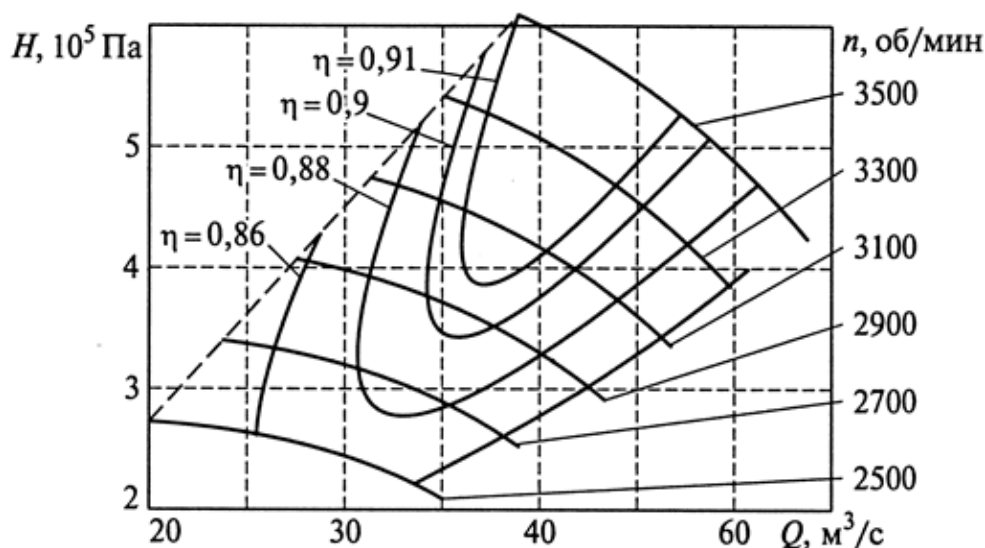


Рисунок 1. Характеристики турбокомпрессора типа К-3250-41-1 при различных частотах вращения.

Технологическая необходимость регулирования подачи турбокомпрессорных машин связана с их назначением. Так, режим работы нагнетателей магистральных газопроводов определяется графиком потребления газа на конце газопровода. Задачей регулирования подачи компрессоров в данном случае является обеспечение транспортирования требуемого количества газа при минимальных энергетических затратах. При сокращении потребления газа необходимо снижение его подачи во избежание излишнего повышения давления в трубопроводах.

Наиболее совершенным способом регулирования производительности турбокомпрессоров является изменение их частоты вращения. На данный момент существует множество вариантов регулирования электропривода компрессорных установок. В зависимости от поставленной задачи и с точки зрения экономической целесообразности существуют свои варианты. Для компрессорных установок мощностью до 50 кВт –



применяют привод с короткозамкнутым ротором, свыше 50 кВт - с фазовым ротором, свыше 100 кВт - синхронные электродвигатели.

В последнее время появилось множество разработок синхронного ЭП с частотным управлением особенно для высокомоощных установок. Существует новая система управления преобразователя частоты (ПЧ) с инвертором тока и с релейным регулятором в котором используются полностью управляемые тиристоры, отличающаяся от известных возможностью работы с минимальной частотой коммутации ключей инвертора, обеспечивая тем самым снижение потерь в ПЧ. Данный частотный ЭП позволяет сократить потребление активной мощности из сети на 20-25%, по сравнению с дроссельным управлением.

Более рациональным и относительно новым вариантом является вентильно-индукторный двигатель (ВИД) – это тип электромеханического преобразователя энергии, который сочетает в себе свойства и электрической машины, и интегрированной системы регулируемого электропривода.

ВИД представляет собой достаточно сложную электромехатронную систему, структурная схема которой приведена на рис. 2.



Рисунок 2. Структурная схема ВИД.

В отличие от большинства традиционных электрических машин современная конструкция этого двигателя имеет магнитную систему с явно выраженной двойной зубчатостью, причем число зубцов на статоре и роторе различно (рис. 3). Благодаря этому при протекании тока по катушкам одной фазы, находящимся на диаметрально расположенных зубцах статора, ближайшие зубцы ротора притягиваются к зубцам возбужденной фазы, и ротор поворачивается в так называемое согласованное положение. При этом зубцовые пары соседней фазы оказываются в частично рассогласованном положении, т.е. подготовлены к тому, чтобы при ее включении и отключении предыдущей повернуть ротор на угол шага, равный разности полюсных делений статора и ротора. Последовательное переключение фаз позволяет повернуть ротор на заданное число шагов.

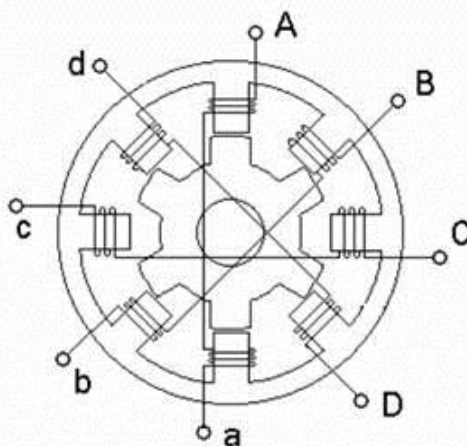


Рисунок 3. Поперечное сечение 4х-фазной индукторной машины конфигурации 8/6.

Потенциальными преимуществами ВИП по сравнению с ПЧ-АД это предельно простая, технологичная, дешевая и надежная конструкция собственно двигателя. В нем отсутствуют существенно усложняющие технологию производства постоянные магниты, цена которых иногда составляет до половины цены всего электропривода. Отсутствует операция заливки ротора, неизбежная при производстве асинхронных двигателей. Обмотки (катушки) статора хорошо приспособлены к машинному производству, проста сборка и, что важно при массовых применениях, разборка для ремонта или утилизации. Пропитка осуществляется только собственно катушек, а не статора в целом, как у других типов машин, что также снижает долю технологических затрат. Так, как сила притяжения ферромагнитного якоря в электромагните не зависит от направления тока в катушке, фазы вентильно-индукторной машины (ВИМ) питаются однополярными импульсами тока, что позволяет выбрать более надежную конфигурацию силовой схемы в сравнении с преобразователем частоты для асинхронного электропривода. Применение схемы несимметричного моста устраняет принципиальную возможность возникновения сквозных коротких замыканий в плече инвертора, не требует введения так называемого «мертвого времени» и компенсации его влияния на форму выходного напряжения, характерного для типовой трехфазной мостовой схемы инвертора, формирующего синусоидальные напряжения и токи за счет высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) интервалов работы силовых ключей. Питание фаз ВИМ прямоугольными импульсами напряжения устраняет необходимость в ШИМ, что уменьшает динамические потери в силовых транзисторах, улучшает условия их охлаждения, увеличивает КПД статического преобразователя. Также на основании теоретических расчетов, так и на сравнении конкретных образцов двигателей, ВИП по основным массогабаритным и энергетическим показателям не уступает и даже превосходит частотно-регулируемый асинхронный привод.

Наконец, ВИП имеет уникальную устойчивость к отказам отдельных элементов. Ни одна из традиционных электрических машин не может работать (по крайней мере, долго) с оборванной или закороченной фазой, поскольку в них существуют сильные магнитные связи между фазами статора, а отклонения от кругового вращающегося магнитного поля вызывают резкую асимметрию и возрастание токов в работающих фазах. Отсутствие магнитной связи между фазами ВИП позволяет работать каждой фазе независимо от других. Отключение одной и даже нескольких фаз приводит только к пропорциональному снижению выходной мощности и возрастанию пульсаций момента, но сохраняет привод в рабочем состоянии. Потеря мощности частично может быть компенсирована увеличением нагрузки на оставшиеся фазы, если имеется надлежащий запас по допустимым токам фаз и силовых ключей. Выход из строя одного из силовых транзисторов в плече типового инвертора вызывает «сквозное» короткое замыкание источника питания, защитой от которого может быть только отключение привода. Поскольку в ВИП используется несимметричная мостовая схема, в плечах которой включены транзистор и диод, при отказе любого из них токовая защита по току источника может заблокировать работу неисправной фазы через отключение оставшегося работоспособным ключа, а ВИП будет продолжать работать.

#### Литература

1. Энергосберегающий асинхронный электропривод // И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
2. Использование частотно-регулируемого электропривода в насосных станциях // Ежемесячная газета «Новости приводной техники». – М.: 2002.
3. Вентильно-индукторные двигатели // Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.: Учеб. Пособие. - М.: Издательство: МЭИ, 2003

УДК 621.7/9.048.7:621.373.826

## ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

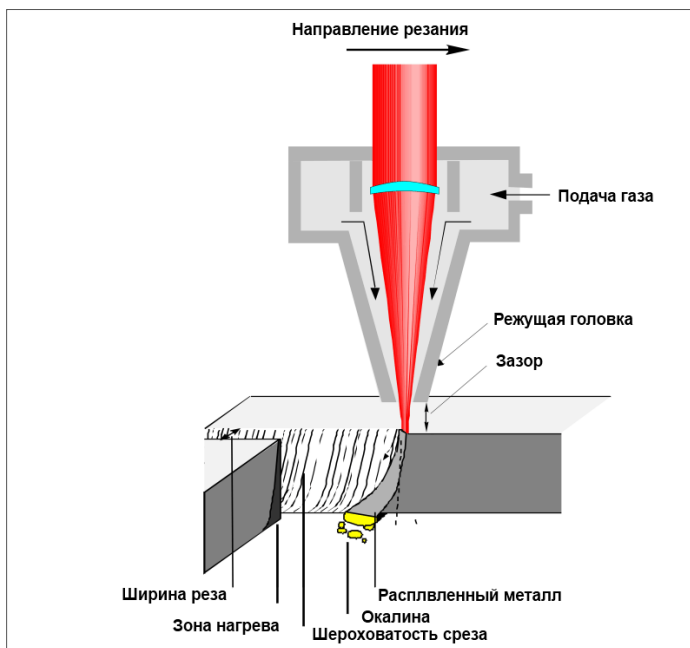
Суховерский Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

### Технология лазерной резки металла

**Лазерная резка** производится путем локального разогрева металла, сфокусированным на его поверхность лазерным излучением. В области воздействия лазерного луча металл нагревается до первой температуры разрушения – плавления. С дальнейшим поглощением излучения происходит расплавление металла, и фазовая граница плавления перемещается вглубь материала. В то же время энергетическое воздействие лазерного луча приводит к дальнейшему увеличению температуры, достигающей второй температуры разрушения – кипения, при которой металл начинает активно испаряться.

Таким образом, возможны два механизма лазерной резки – плавлением и испарением. Однако последний механизм требует высоких энергозатрат и осуществим лишь для достаточно тонкого металла. Поэтому на практике резку выполняют плавлением. При этом в целях существенного сокращения затрат энергии, повышения толщины обрабатываемого металла и скорости разрезания применяется



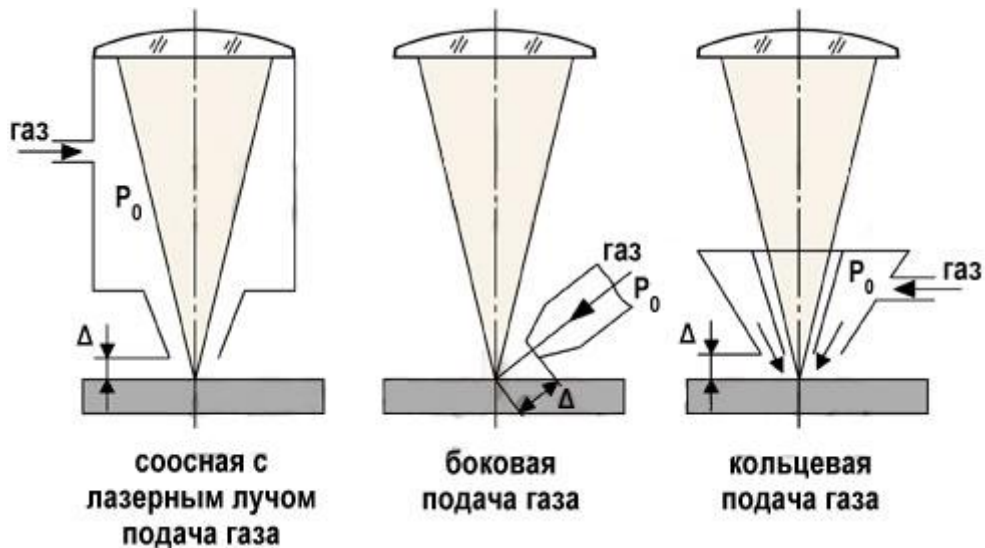
вспомогательный газ, вдуваемый в зону реза для удаления продуктов разрушения металла. Обычно в качестве вспомогательного газа используется кислород, воздух, инертный газ или азот. Такая резка называется **газолазерной**.

Например, кислород при газолазерной резке выполняет тройную функцию:

- вначале содействует предварительному окислению металла и снижает его способность отражать лазерное излучение;
- затем металл воспламеняется и горит в струе кислорода, в результате выделяется дополнительная теплота, усиливающая действие лазерного излучения;
- кислородная струя сдувает и уносит из области резки расплавленный металл и продукты его сгорания, обеспечивая одновременный приток газа непосредственно к фронту реакции горения.

В зависимости от свойств разрезаемого металла применяются два механизма газолазерной резки. При первом значительный вклад в общий тепловой баланс вносит теплота реакции горения металла. Такой механизм резки обычно используется для материалов, подверженных воспламенению и горению ниже точки плавления и образующих жидкотекучие оксиды. Примерами могут служить низкоуглеродистая сталь и титан.

При втором механизме резки материал не горит, а плавится, и струя газа удаляет жидкий металл из области реза. Данный механизм применяется для металлов и сплавов с низким тепловым эффектом реакции горения, а также для тех, у которых при взаимодействии с кислородом образуются тугоплавкие оксиды. Например, легированные и высокоуглеродистые стали, алюминий, медь и др.



Схемы подачи вспомогательного газа в зону резки

### Виды лазеров для резки

Существует достаточно много разновидностей лазеров и практически все они могут развивать мощность достаточную для работы с металлами. Чаще всего, резка металла лазером осуществляется с помощью **твердотельных, газовых** либо **газодинамических лазеров**.

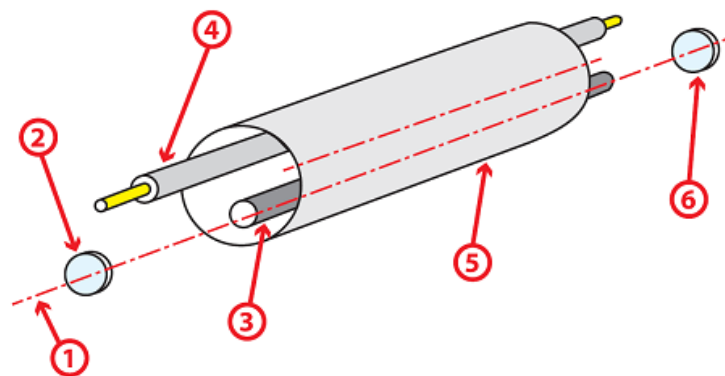
Это связано с тем, что эти разновидности лазеров в настоящий момент являются наиболее оптимальными по мощности и стоимости оборудования.

Лазер, как правило, состоит из трех основных узлов:

- источника энергии (механизма или системы накачки);
- активного (рабочего) тела, которое подвергается «накачке», что приводит к его вынужденному излучению;
- оптического резонатора (системы зеркал), обеспечивающего усиление вынужденного излучения активного тела.

### Твердотельные

В осветительной камере твердотельного лазера размещаются лампа накачки и активное тело, представляющее собой стержень из рубина, неодимового стекла (Nd-Glass) или алюмоиттриевого граната, легированного иттербием (Yb-YAG) либо неодимом (Nd-YAG). Лампа накачки создает мощные световые вспышки для возбуждения атомов активного тела.



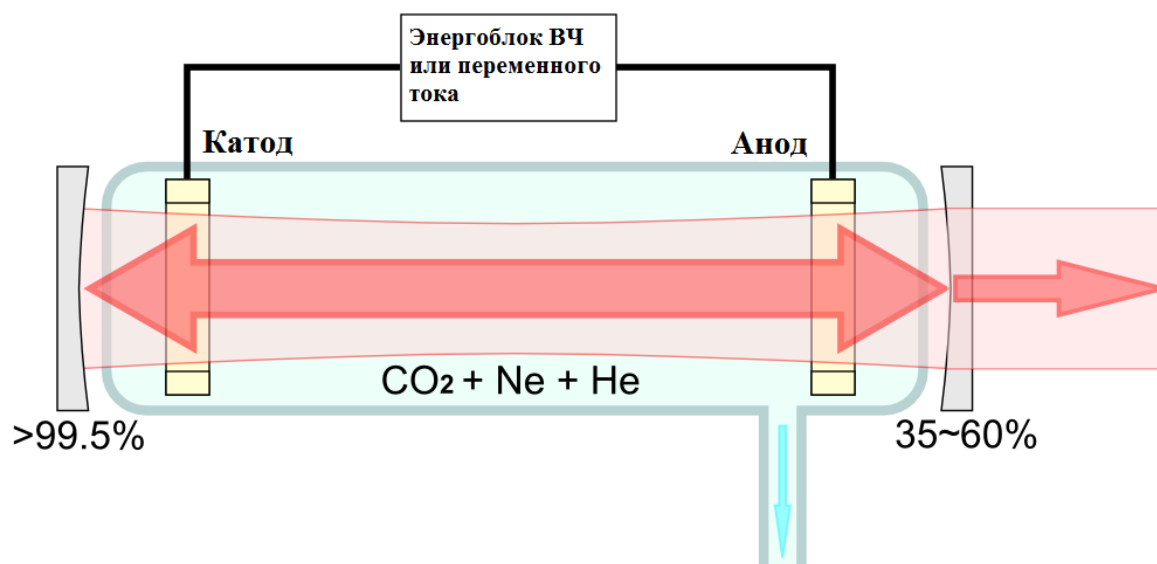
**Схема твердотельного лазера:**

- |                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1 – луч лазера,                  | 4 – лампа накачки,        |
| 2 – частично прозрачное зеркало, | 5 – осветительная камера, |
| 3 – активное тело,               | 6 – отражающее зеркало    |

По торцам стержня расположены зеркала – частично прозрачное (полупрозрачное) и отражающее. Лазерный луч усиливается в результате многократных отражений внутри активного тела и выходит через частично прозрачное зеркало.

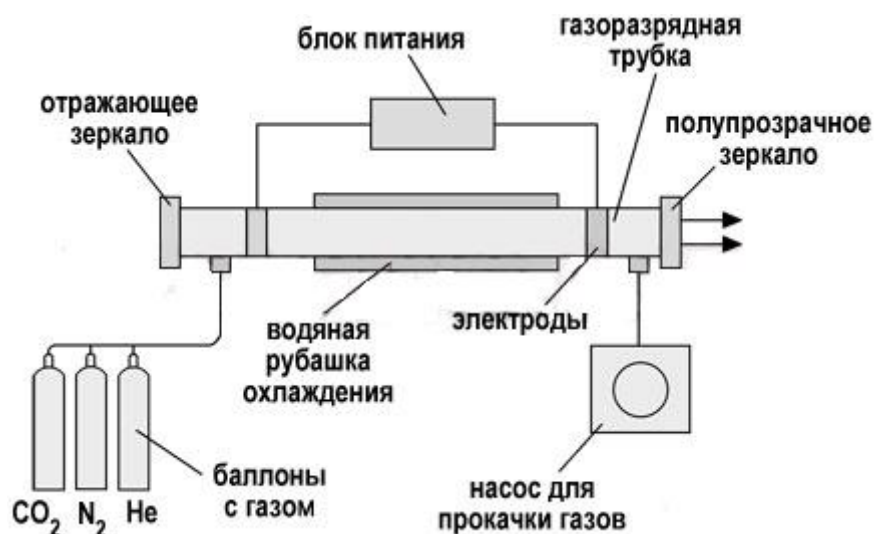
Серийные твердотельные лазеры имеют сравнительно небольшую мощность, как правило, не превышающую 1–6 кВт. Длина волны – около 1 мкм (рубинового лазера – около 694 нм). Режим излучения может быть, как непрерывным, так и импульсным.

### Газовые



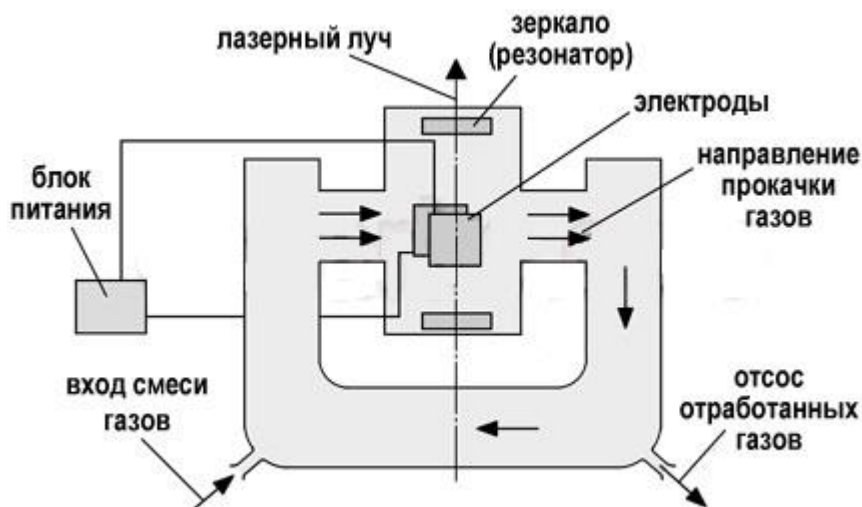
Устройство газового лазера

В газовых лазерах в качестве активного тела применяется смесь газов, обычно углекислого газа, азота и гелия. В лазерах с продольной прокачкой газа смесь газов, поступающих из баллонов, прокачивается с помощью насоса через газоразрядную трубку. Электрический разряд между электродами, подключенными к источнику питания, используется для энергетического возбуждения газа. По торцам трубки размещены отражающее и полупрозрачное зеркала.



Газовый лазер с продольной прокачкой газа

Более компактными и мощными являются лазеры с поперечной прокачкой газа. Их общая мощность может достигать 20 кВт и выше.



Газовый лазер с поперечной прокачкой газа

Весьма эффективны щелевые  $\text{CO}_2$ -лазеры. Они имеют еще меньшие габариты, а мощность их излучения обычно составляет 600–8000 Вт. Режим излучения – от непрерывного до частотно-импульсного.

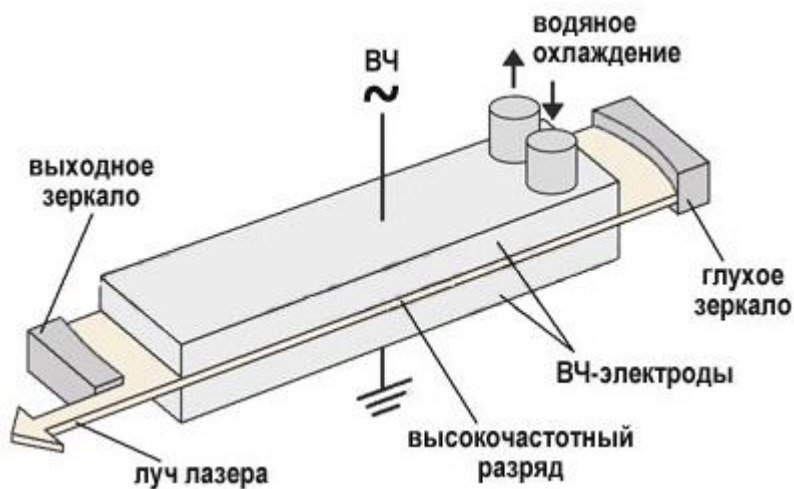


Схема щелевого лазера

В щелевом лазере применяется поперечная высокочастотная накачка активной среды (с частотой от десятков МГц до нескольких ГГц). Благодаря такой накачке увеличивается устойчивость и однородность горения разряда. Щель между электродами составляет 1–5 мм, что способствует эффективному отводу тепла от активной среды.

### Газодинамические

Наиболее мощные лазеры – газодинамические (100–150 кВт и выше). Газ, нагретый до температуры 1000–3000 К, протекает со сверхзвуковой скоростью через сопло Лавалья (суженный посередине канал), в результате чего он адиабатически расширяется и охлаждается в зоне оптического резонатора. При охлаждении возбужденных молекул углекислого газа происходит испускание когерентного излучения. Накачка лазера может осуществляться вспомогательным лазером или другим мощным источником энергии.

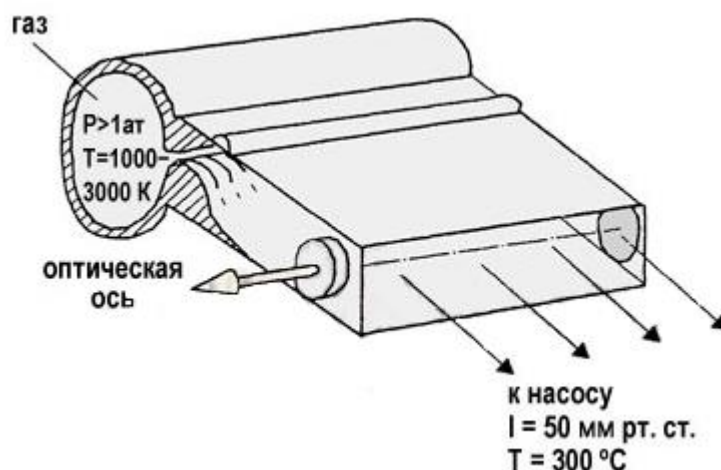


Схема газодинамического лазера

Длина волны излучения углекислотных лазеров составляет 9,4 или 10,6 мкм.

Твердотельные лазеры плохо обрабатывают неметаллы, поскольку ряд таких материалов полностью или частично прозрачен для излучения с длиной волны около 1 мкм, например, оргстекло. Лазерный луч более чувствителен к неровной поверхности обрабатываемого материала. Однако при раскросе алюминиевых сплавов, меди и латуни твердотельные лазеры имеют преимущество по сравнению с углекислотными, поскольку поглощение излучения поверхностью этих металлов значительно выше на длине волны твердотельного лазера.

Углекислотные лазеры более универсальны и применяются для обработки почти любых металлов и неметаллов. Кроме того, у них очень низкая расходимость луча, что дает возможность разместить источник излучения далеко от зоны обработки без потери качества луча.

#### **Резка различных материалов**

Для разрезания металлов в основном требуется мощность лазера от 450–500 Вт и выше, для цветных металлов – от 1 кВт и выше.

**Резку углеродистых сталей** чаще всего выполняют с применением кислорода в качестве вспомогательного газа. В результате взаимодействия кислорода с нагретым лучом металлом протекает экзотермическая реакция окисления железа обычно с выделением в 3–5 больше тепла, чем от самого лазерного излучения. Качество торцевой поверхности реза – высокое. На нижней кромке реза характерно образование незначительного грата. Наибольшую проблему представляет возможность перехода процесса резки, выполняемого на очень малых скоростях (как правило, менее 0,5 м/мин), в неуправляемый автогенный режим, при котором металл начинает разогреваться до температуры горения за пределами воздействия луча, что приводит к повышению ширины реза и увеличению его шероховатости.

В ряде случаев, например, при вырезке деталей с острыми углами и отверстиями малого диаметра, вместо кислорода предпочтительно использование инертного газа при высоком давлении.

**Лазерная резка нержавеющей стали**, в особенности больших толщин, затруднена процессом зашлаковывания реза из-за присутствия в металле легирующих элементов, влияющих на температуру плавления металла и его оксидов. Так, возможно образование тугоплавких оксидов, препятствующих подводу лазерного излучения к обрабатываемому материалу. Усложняет процесс резки и низкая жидкотекучесть расплавленных оксидов, например, свойственная для нержавеющей хромоникелевых и высокохромистых сталей.

Для получения качественного реза используется азот высокой чистоты, подаваемый при повышенном давлении (обычно до 20 атм). При резке нержавеющей стали большой

толщины требуется заглабление фокального пятна луча в разрезаемый металл. Как следствие, повышается диаметр входного отверстия и возрастает подача газа внутрь металла в зону расплава.

Для **лазерной резки алюминия и его сплавов, меди и латуни** требуется излучение более высокой мощности, что обусловлено следующими факторами:

- низкой поглощательной способностью этих металлов по отношению к лазерному излучению, особенно с длиной волны 10,6 мкм углекислотного лазера, в связи с чем твердотельные лазеры более предпочтительны;
- высокой теплопроводностью этих материалов.

Обработка малых толщин на станке лазерной резки металла может выполняться в импульсном режиме работы лазера, что позволяет уменьшить зону термического воздействия, а больших толщин – в микроплазменном режиме. Плазмообразующими являются пары легко ионизируемых металлов – магния, цинка и др. Под действием лазерного луча в области реза образуется плазма, нагревающая металл до температуры плавления и плавящая его.

При разрезании алюминия применяется вспомогательный газ с давлением более 10 атм. Структура торцевой поверхности реза – пористая с легко удаляемым гратом на нижней кромке реза. С повышением толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

При резке латуни торцевая поверхность реза обладает пористой шероховатой структурой с легко удаляемым гратом в нижней части реза. С возрастанием толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

#### Технологические параметры

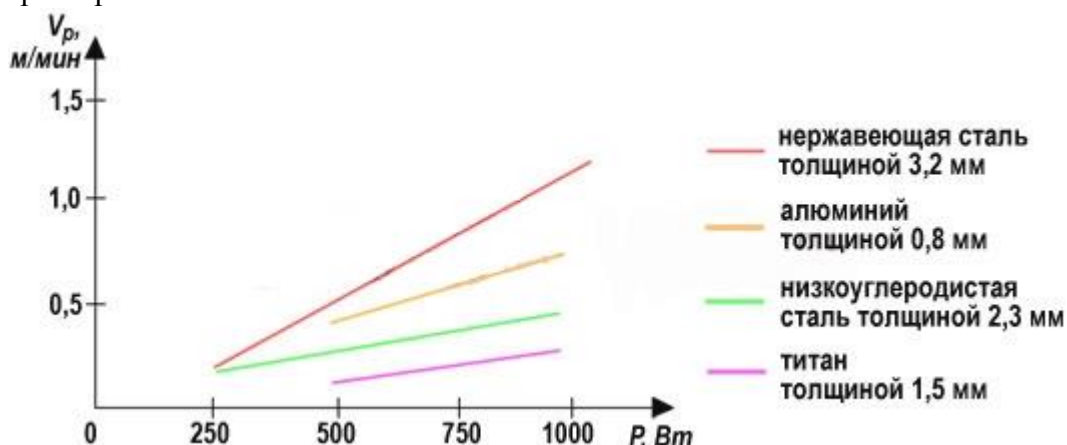
Основными технологическими параметрами процесса лазерной резки являются:

- мощность излучения;
- скорость резки;
- давление вспомогательного газа;
- диаметр сфокусированного пятна и др.

При импульсном режиме к данным параметрам добавляются:

- частота повторения импульсов;
- длительность импульсов;
- средняя мощность излучения.

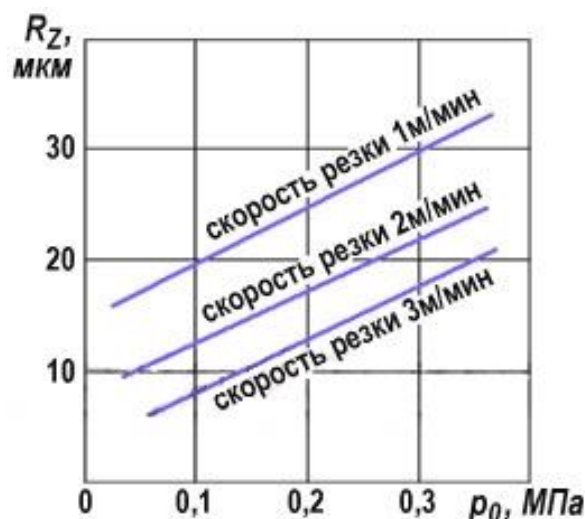
Эти параметры влияют на ширину реза, качество резки, зону термического влияния и другие характеристики.



#### Влияние мощности излучения на скорость резки металлов

Качество реза определяется шероховатостью его поверхности. Она отличается для различных зон по толщине металла. Наилучшее качество характерно для верхних слоев разрезанного металла, наихудшее – для нижних.





Зависимость шероховатости поверхности реза углеродистой стали от избыточного давления кислорода при разных скоростях газолазерной резки

### Преимущества, недостатки

Преимущества технологии **лазерного раскроя**:

- Возможность изготовить изделия любой сложности, любой формы и конфигурации с точностью до 0,1 мм;
- Низкая себестоимость за счет высокого качества реза, что позволяет исключить или снизить затраты на дальнейшую механическую обработку;
- Минимальное количество отходов и экономный расход листового металла в процессе производства за счет оптимальной раскладки деталей на листе;
- Высокая производительность и скорость реза за счет большой мощности лазерного излучения;
- Малая зона термического влияния в зоне резки, отсутствие механического контакта с обрабатываемой поверхностью, возможность резки легкодеформируемых и нежестких деталей;
- Резка твердых инструментальных сплавов, плохо поддающихся механической обработке;
- Универсальность оборудования позволяет изготавливать детали практически по любым чертежам.

Как и все технологии, **лазерная резка** не лишена недостатков и ограничений:

- Ограничение по толщине разрезаемого материала;
- Уступает штамповке по цене за деталь (если не учитывать стоимость изготовления штампа!).

### Литература

1. Лазерная резка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.osvarke.com/lazernaya-rezka.html>. - Дата доступа : 25.03.2015.
2. Технология лазерной резки листового металла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.benutek.com.ua/articles/laser-cut-technology/>. - Дата доступа : 25.03.2015.

УДК 621:621.373.826:681.7.068.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Бабина С.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Волоконный лазеры - это лазер с полупроводниковой накачкой. Они были разработаны в 1980-х годах прошлого столетия. В настоящее время известны модели волоконных технологических лазеров мощностью до 20 кВт. Сегодня эти устройства достигли уровня характеристик, в первую очередь, мощности, надежности, позволяющих с успехом использовать их для решения различных задач лазерной обработки материалов.

Первые волоконные лазеры были созданы на кварцевых волокнах, легированных ионами неодима. В настоящее время генерация получена в кварцевых волокнах, легированных неодимом, эрбием, иттербием, тулнием, празеодимом. Однако наиболее распространены волоконные лазеры, легированные неодимом, эрбием.

Лазерное волокно длиной в несколько десятков метров, как правило, состоит из двух волокон: центрального и внутреннего. Внутреннее волокно, заполненное активной средой (например, иттербий), имеет диаметр в 6-8 мкм и находится внутри кварцевого (центрального) волокна диаметром 400-600 мкм. Внутренние стенки волокна покрыты светоотражающей поверхностью, поэтому движущийся поток квантов претерпевает многократное отражение. Сталкиваясь между собой кванты, выбивают фотоны и ионы редкоземельных элементов, которые усиливают суммарный поток света. Все световые волны, многократно отражаясь, накладываются, тем самым, образуя стоячую волну. Так как сечение центрального волокна имеет малый диаметр, а само волокно имеет огромную длину, то для компактности волокно можно намотать на какой-либо объект.

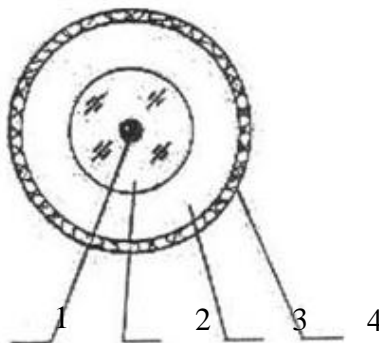


Рисунок 1 Схема строения волокна 1 - сердцевина, легированная редкоземельным элементом; 2 – кварцевое волокно; 3 - полимерная оболочка; 4 - внешнее защитное покрытие.

В волоконном же лазере накачка проводится диодами с одномодовым излучением. Рассмотрим разработанные волоконные световоды с двойной оболочкой, легированные ионами иттербия. Дифференциальная квантовая эффективность волоконного лазера с диодной накачкой, реализованного на основе таких световодов с волоконной брэгговской решеткой, составила 90%. Также разработаны иттербиевые волоконные световоды с двойной оболочкой и создан на их основе высокоэффективный лазер с диодной накачкой. Зачастую для накачки имеются мощные и надежные лазерные диоды, излучающие в области 960-980 нм, излучение которых вводится в кварцевое волокно.

Главная особенность этого лазера в том, что излучение здесь рождается в тонком, диаметром всего в 6-8 мкм, волокне 3 (сердцевине – например, активная среда иттербий), которое фактически находится внутри кварцевого волокна 2 диаметром 400-600 мкм.

Излучение лазерных диодов 8 накачки вводится в кварцевое волокно 2 и распространяется вдоль всего сложного составного волокна, отражаясь от светоотражающего покрытия 4, имеющего длину несколько десятков метров, которое можно навивать на какую-либо поверхность. Упрощенно говоря, это излучение оптически накачивает сердцевину, именно в ней происходит эффект усиления спонтанного излучения ионов редкоземельных элементов. Вблизи концов волокна на сердцевине размещают два так называемых дифракционных зеркала, одно из которых сплошное 1, а другое полупрозрачное. Полупрозрачное зеркало выпускает только часть полученного после многократного отражения светового излучения, в то время как сплошное зеркало не выпускает световой поток, отражая его. Тем самым часть излучения выходит в виде лазерного луча, а другая часть, испытывая переотражение от стенок волокна и двух зеркал, компенсирует ушедшее излучение. Система уравнивается. Таким образом, создается резонатор волоконного лазера. Через полупрозрачное зеркало выходит идеальный одномодовый лазерный пучок с весьма равномерным распределением мощности, что позволяет сфокусировать излучение в пятно малого размера с помощью фокусирующей линзы 7, и, наконец, через волокно выходит конечный сфокусированный лазерный луч 6.

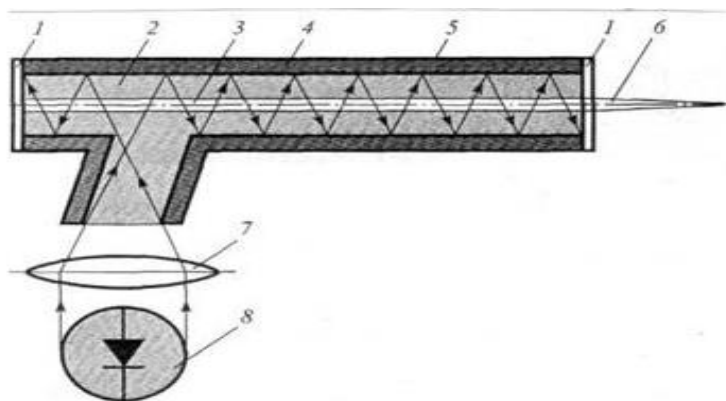


Рисунок 2 Схема конструкции лазера

Мощность волоконного лазера, применяемого для технологических целей, должна составлять от 100 Вт до 4...6кВт. Излучение такой мощности получают сочетанием многокаскадного усиления в волокнах с набором мощности излучения от нескольких лазеров с меньшей мощностью.

Принцип работы такого лазера заключается в следующем. Сначала накачивается задающий волоконный лазер с помощью излучения светодиодов, пропущенного через фокусирующие системы светодиодов. Затем световое излучение передается по световому волокну к изолятору. От изолятора излучение передается мощному волоконному лазеру первой ступени, накачивая его, а от лазера первой ступени соответственно к мощному волоконному лазеру второй ступени, который тоже накачивается. После фокусировки из лазера второй ступени выходит конечный лазерный луч. С помощью такого лазера можно получить мощность излучения до 100Вт. При этом КПД лазера составляет до 23 %. В этом случае наблюдается весьма малое тепловыделение (около 8...10 Вт). Это дает возможность использовать воздушное охлаждение и исключить применение сложных систем водяного охлаждения, что присуще другим типам технологических лазеров. Для получения мощностей 2, 4, 6 и 10 кВт создают блочные системы, в которых излучение отдельных одномодовых волоконных лазеров мощностью 100 Вт собирается в одном волокне. И после прохождения через фокусирующую систему лазерный луч попадает на обрабатываемую деталь.

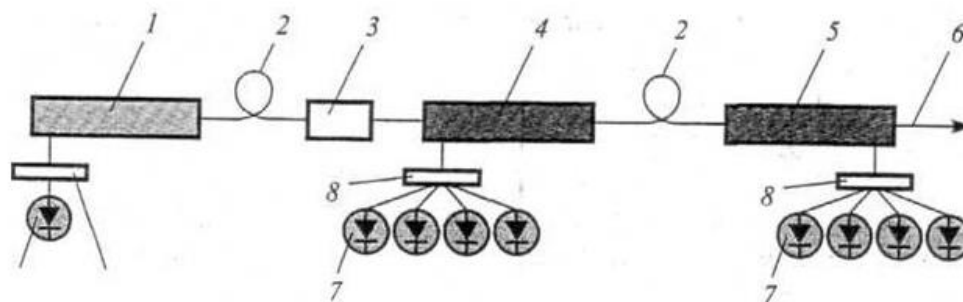


Рисунок 3 Схема многокаскадного усиления в волокнах путем набора мощности излучения от нескольких лазеров с меньшей мощностью 1 – задающий волоконный лазер; 2 – соединяющее световое волокно; 3 – изолятор; 4 – мощный усиливающий волоконный лазер первой ступени; 5 – мощный усиливающий волоконный лазер второй ступени; 6 – лазерный луч; 7 – светодиоды; 8 – фокусирующие системы светодиодов.

Волоконный лазер имеет ряд преимуществ перед другими видами лазеров. Разделим их на три группы: оптические, энергетические и технологические.

#### Оптические.

Длина излучения волны у волоконного лазера  $\lambda = 1,09$  мкм. Такая длина волны дает волоконному лазеру ряд преимуществ:

- 1) Излучение с такой длиной волны будет прекрасно фокусироваться через стеклянные линзы, что позволяет сэкономить денежные средства при установке фокусирующей системы.
- 2) Излучение с такой длиной волны может передаваться по волокну на большие расстояния. Поэтому сама лазерная установка может находиться в удобном для работы месте, а волокно от лазерной установки уже непосредственно протягивается на место сварки.
- 3) Такое коротковолновое излучение очень интенсивно поглощается металлом:
  - малый размер выходной апертуры луча (300 мкм) позволяет сфокусировать конечный лазерный луч в очень маленькую точку.
  - у волоконного лазера малая расходимость луча, следовательно, увеличивается фокусное расстояние.

#### Энергетические

- 1) у волоконного лазера высокий КПД источника ( $\eta = 35\%$ ), в то время как у других лазеров КПД достаточно мал. Например, у газовых лазеров он составляет  $\eta = 5\%$ .
- 2) возможность создания излучателей высокой мощности до 100кВт путем объединения излучений нескольких волоконных лазеров в одно.
- 3) малая теплоотдача, не требует интенсивного охлаждения, а это значит, что снижается суммарное потребление энергии и лазер становится компактнее и проще в обслуживании и ремонте.

#### Технологические

- для волоконных лазеров практически не требуется такое техническое обслуживание, как настройка, юстировка, чистка и др.
- допускает размещение в обычных рабочих помещениях цехов без учета специальных требований.
- компактность установок обусловлена тем, что лазер может занимать удобное для работы месторасположение, даже если оно находится на значительном расстоянии от места сварки и обработки деталей.
- возможность передачи излучения по световоду.
- срок работы до 100000 часов, так как большой нагрузки диоды и волокно не испытывают.
- отсутствие настроечных операций на лазере.
- стеклянная оптика (использование стеклянных фокусирующих линз) позволяет снизить затраты на фокусирующую систему.
- высокая эффективность проплавления.

Анализ применения волоконных лазеров показывает, что лазерная резка занимает 35% от общего объема, лазерная сварка — 25%, маркировка и гравировка — 15%, микрообработка – 20%.

В настоящее время лазерная резка применяется во всех отраслях промышленности от раскроя листового металла для корпусов различных приборов до изготовления строительных конструкций, деталей машин, узлов летательных аппаратов, судов, спец.изделий.

Для лазерной сварки и наплавки широко используются

установки с волоконными лазерами с ламповой накачкой. Применение этих лазеров обеспечивает минимальную зону термического влияния на материал, что позволяет сохранить геометрию свариваемых изделий практически без изменений. Эти установки используются для изготовления сложных и ответственных изделий в атомной, аэрокосмической, электронной, оборонных отраслях промышленности.

Из существующих способов маркировки лазерная маркировка наиболее современный, технологичный и гибкий метод, позволяющий управлять лазерным излучением (во времени и в пространстве), регулировать его энергию. При использовании лазеров различной длины волны круг маркируемых материалов очень широк: металлы, пластик, полупроводники, резина, кожа, спецсплавы, дерево и т.д. Маркировка осуществляется точно, быстро и качественно.

Лазерная микрообработка материалов, как правило, производится лазерным излучением, сфокусированным в пятно диаметром менее 25 микрон. Для большей части приложений микрообработки такой диаметр пятна является даже большим, так как зачастую толщина обрабатываемого материала или слоя составляет около 10 мкм, а требуемая точность размерной обработки и позиционирования — 1-2 мкм и менее.

Лазерная микропайка имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Прежде всего, это бесконтактность процесса, а, следовательно, меньший риск электростатического разрушения деталей. Повторяемость и контролируемость процесса вследствие стабильности параметров и качества излучения современных лазерных источников. До недавнего времени наиболее часто для микросварки применялись диодные лазеры, как наиболее экономичное решение, однако сегодня на этом рынке неплохую конкуренцию им составляют волоконные лазеры. Лазеры также применяются и для микросварки инструментария малоинвазивной хирургии, например, катетеров.

#### Литература

1. Голубенко Ю.В. Волоконные лазеры в технологиях машиностроения / Голубенко Ю.В. Богданов А.В. Учеб. Пособ. М. 2012.
2. Ласкин А.А., От твердых лазеров – к лазерам волоконным./Лаксин А.А., Журнал Флексо Плюс, Изд-во: Курсив.,М 2002
3. <http://www.laser-portal.ru> – Волоконные лазеры/ Лазерный портал.

УДК 648.23

## ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА БЫТОВЫХ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН

Заянчковская М.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Стирка в бытовых стиральных машинах осуществляется механическим перемешиванием белья в стиральном растворе. Перемешивание белья и активация стирального раствора в машинах производится вращающимся лопастным диском (активатором) или барабаном.

Стиральные машины изготавливаются следующих типов:

- СМ – стиральная машина без отжима;
- СМР – стиральная машина с ручным отжимным устройством;
- СМП – стиральная машина полуавтоматическая, у которой управление отдельными процессами обработки тканей выполняется оператором;
- СМА – стиральная машина автоматическая, у которой управление процессами обработки тканей выполняется в соответствии с заданной программой.

Машины должны работать от электрической сети однофазного переменного тока с напряжением 220 В.

### Стиральные машины типа СМА.

Бытовые автоматические стиральные машины типа СМА предназначены для стирки белья по заданной программе. Автоматические стиральные машины принципиально отличаются от выпускающихся ранее по конструкции и сложности электрических схем.

В них широко используются элементы автоматики, никогда ранее не применявшиеся в бытовых стиральных машинах.

Процессы стирки в этих машинах полностью автоматизированы:

- залив и слив воды для всех операций;
- ввод моющих средств;
- замочка;
- стирка с нагревом воды с бельем в баке стиральной машины до заданной температуры;
- полоскание и отжим.

Разнообразный набор программ позволяет стирать белье разной степени загрязненности, прочности, из тканей различной химической структуры, качественно и существенно не снижая степени износа. Для автоматического управления процессами стирки, с учетом физико-химических и механических свойств тканей, в автоматических стиральных машинах установлен целый ряд приборов контроля и регулирования процессов стирки. Они осуществляют взаимодействие механизмов машины в определенной, заранее заданной последовательности во времени:

- коммандоаппарат;
- задающее устройство;
- датчик-реле уровня стирального раствора в баке;
- датчик-реле температуры стирального раствора.

Непосредственно процесс стирки осуществляется в барабане стирального бака с помощью исполнительных органов: электромагнитного клапана, электродвигателя привода барабана, электронасоса, электронагревателя.

В автоматических стиральных машинах имеется ряд вспомогательных элементов, обеспечивающих работу исполнительных приборов: общий сетевой выключатель; микро-выключатель блокировки крышки; конденсаторы; резисторы; лампа сигнальная.

Все автоматические стиральные машины отличаются по конструкции, по примененным электрическим схемам и используемым элементам автоматики.

На рисунках 1 и 2 показан внешний вид СМ без декоративных крышек – вид сбоку и спереди соответственно.

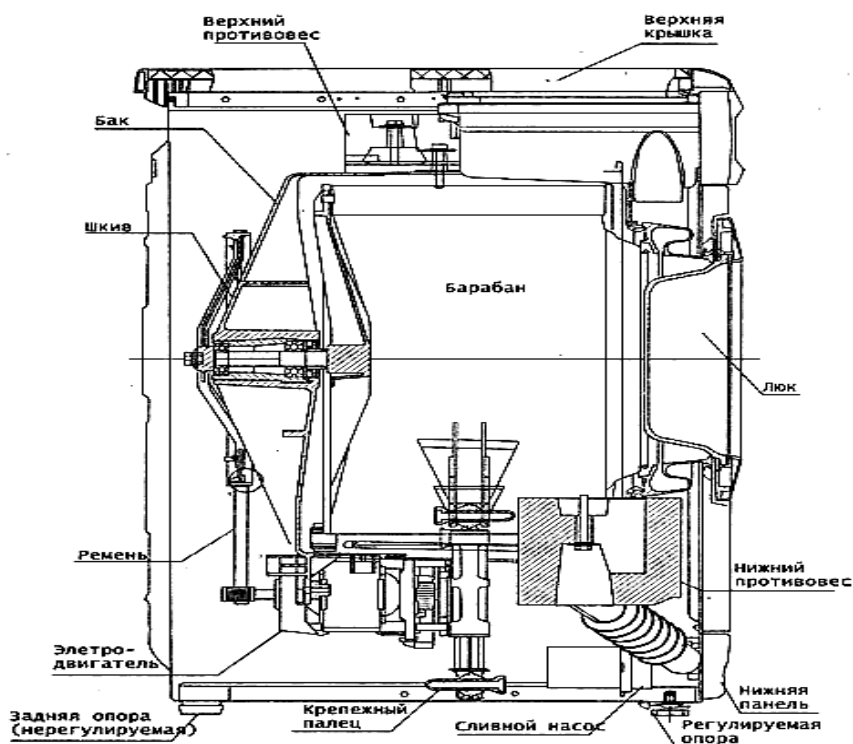


Рисунок 1. Основные конструктивные узлы стиральной машины (вид сбоку)

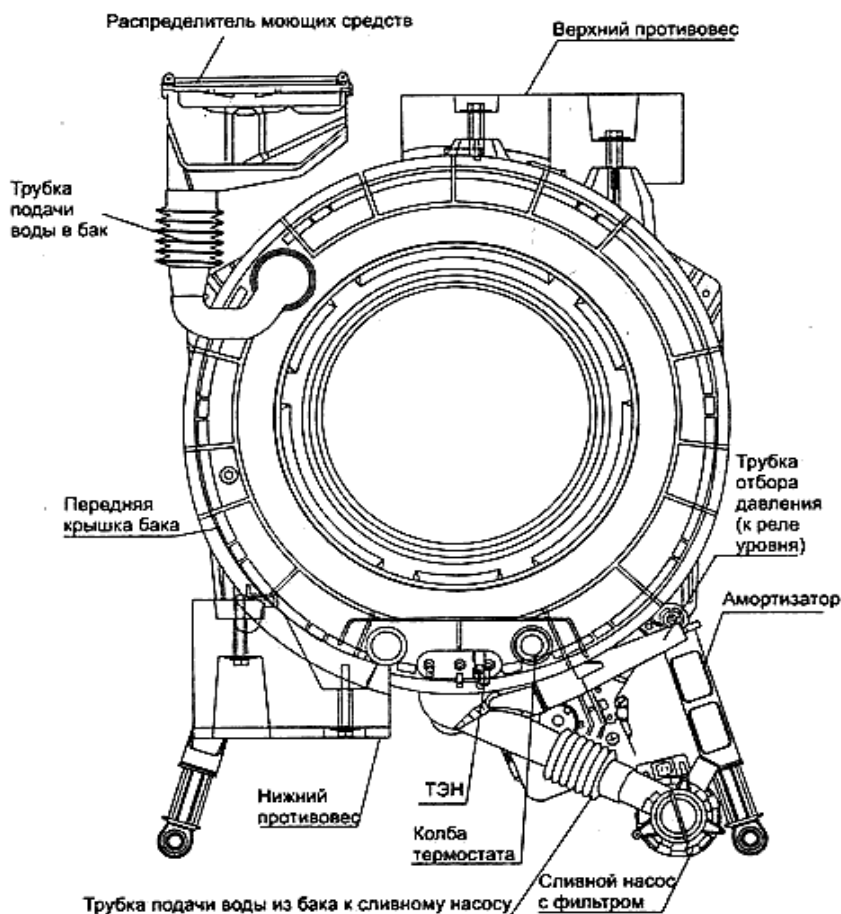
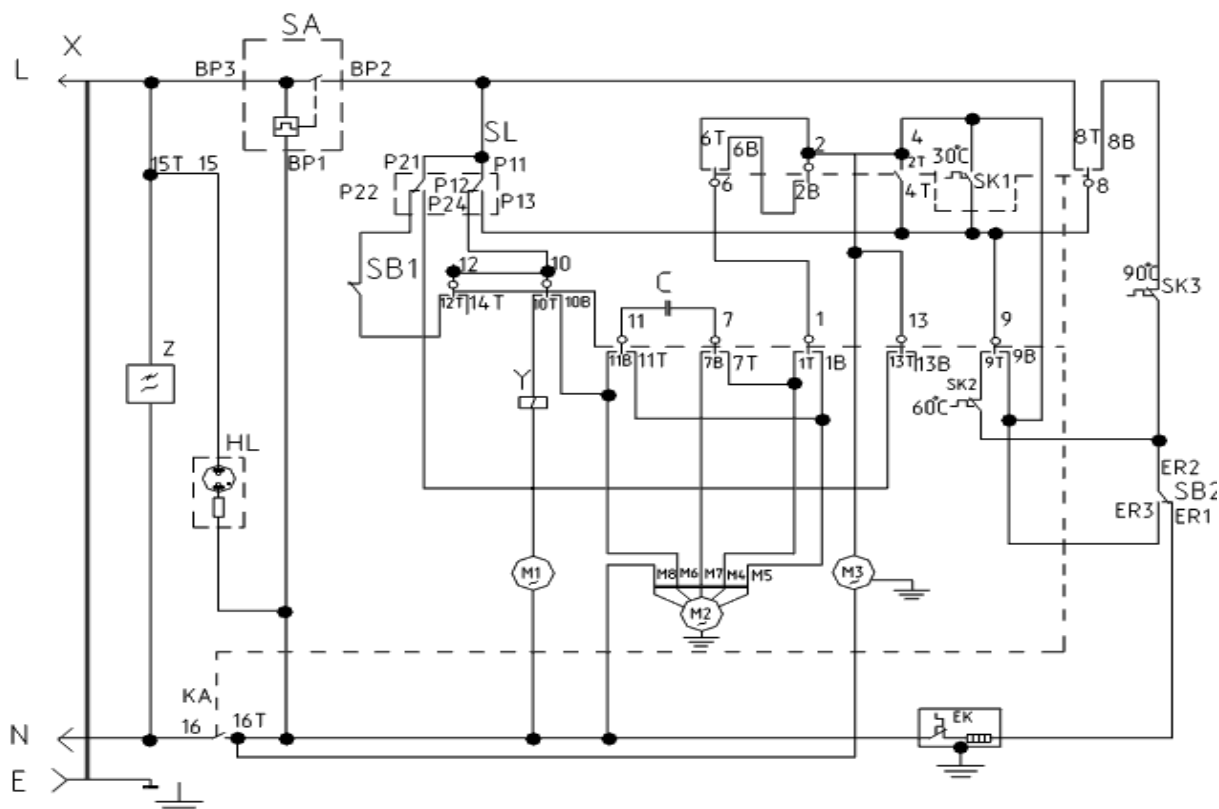


Рисунок 2. Основные конструктивные узлы стиральной машины (вид спереди)

В качестве примера на рисунке 3 приведена электрическая схема стиральной машинки Атлант СМА 5ФБ 520, построенной по схеме с механическим управлением. Основную роль в процессе управления стиркой играет командоаппарат стиральной машины.



С	Конденсатор
ЕК	ТЭН
HL	Индикатор сети
КА	Командоаппарат
М1	Электронасос
М2	Электродвигатель
М3	Электродвигатель командоаппарата
SA	Электрозамок блокировки двери
SB1	Выключатель ("половинная загрузка")
SB2	Выключатель ("стирка в холодной воде")
SK1	Термовыключатель 30°C
SK2	Термовыключатель 60°C
SK3	Термовыключатель 90°C
SL	Датчик-реле уровня
X	Шнур сетевой
Y	Электроклапан
Z	Фильтр радиопомех

Рисунок 3. Электрическая схема стиральной машины Атлант СМА 5ФБ 520

#### Литература

1. В. Коляда Современные стиральные машины Книги 1,2,3 / СОЛОН-Р. – 2002. – 606 с.
2. Лебедев А. И. Анатомия стиральных машин / Солон-Пресс. 2008. – 120 с.
3. <http://www.prostiralku.com/exemy-stiralnyx-mashin-atlant-sma-840t-1040t.html>



УДК 621.316.99

**ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГЕРКОНА И GSM СВЯЗИ**

Роскач А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Существует множество промышленных охранных сигнализаций, которые можно купить в специализированном магазине. Для их установки часто обращаются в фирму, занимающуюся установкой охранных сигнализаций в доме, на даче, автомобиле, гараже и т.д.

Здесь описывается принцип работы и схемы простых и, тем не менее, надежных методов и автономных устройств охраны от проникновения. Сам принцип – при проникновении, в первую очередь, включается звуковая и (или) световая сигнализация – старый, проверенный способ, отпугивающий воров в 98%. Кстати, на 100% Вас не защитит ни одна, самая крутая, сигнализация и даже подключение на пульт охранной фирмы.

Охранные системы можно условно разделить на две группы: локальные или автономные и централизованные. Сегодня наиболее распространены локальные охранные системы в силу невысокой стоимости их установки и обслуживания. У централизованных систем в свою очередь есть ряд весомых преимуществ, среди которых стоит отметить возможность круглосуточной работы в автоматическом режиме.

Датчики охранной сигнализации бывают разных типов:

- инфракрасные датчики охранной сигнализации;
- радиоволновые датчики движения охранной сигнализации;
- вибрационные датчики охранной сигнализации;
- ёмкостные датчики охранной сигнализации;
- магнитные (герконовые) датчики открытия дверей и окон;
- лучевые датчики охранной сигнализации;
- акустические датчики разбития стекла;
- датчики удара и т. д.

В данной работе мы рассматриваем три охранные системы. Первая из них на основе геркона. Она изображена на рисунке 1.

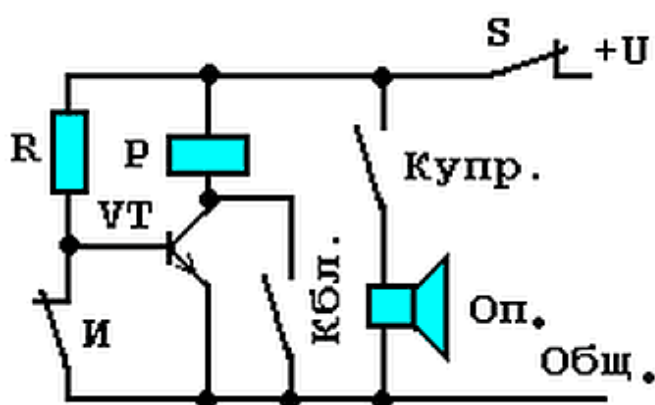


Рисунок 1. Схема сигнализации на основе геркона

Для самой простой сигнализации достаточно установить датчики проникновения на двери и окна (обычный геркон и магнит) и подключить их к схеме сигнализации. Датчик устанавливается: магнит на движущую часть двери или окна, геркон на не движущую, таким образом, чтобы в закрытом состоянии, геркон был замкнут. Все герконы подключаются последовательно. Сигнализация будет срабатывать при разрыве цепи в любом месте. При срабатывании сигнализации, включается устройство оповещения. Оповещение может быть

световым, звуковым, комбинированным. Кроме того, при небольшой доработке, сигнал о срабатывании охранной сигнализации может передаваться на пульт, мобильный телефон и т.п.

Вторая схема основана на телефонах, использующих стандарт связи GSM. Она изображена на рисунке 2.

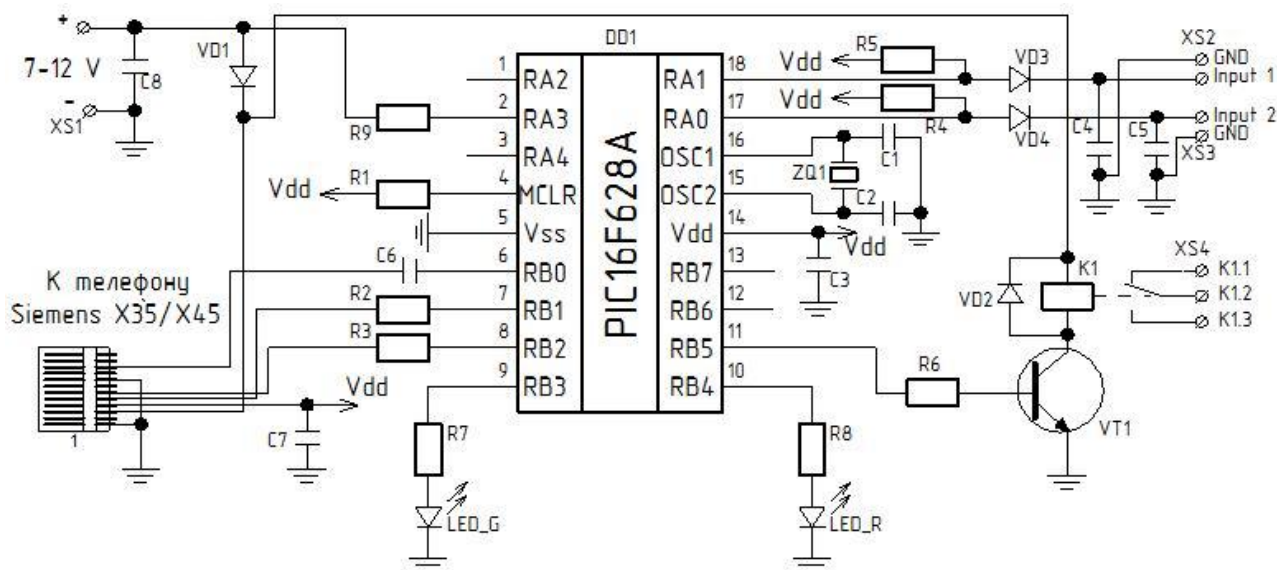


Рисунок 2. Схема сигнализации на основе GSM связи и микроконтроллера PIC16F628

Принцип действия GSM сигнализации заключается в получении и обработке данных с установленных на объекте датчиков GSM контроллером и, в случае возникновения нештатной ситуации (срабатывании датчика), оповещение через канал сотовой связи любого оператора (сотовый телефон). Кроме того, к GSM контроллеру подключается внешнее питание и, в случае необходимости звуковая сирена (к выходному реле).

Самое широкое распространение подобной сигнализации – в гараже. Простейшая самодельная GSM сигнализация поможет решить ряд проблем, добавить вам уверенности в сохранности автомобиля.

Некоторые основные особенности данной разработки, как положительные, так и отрицательные:

- быстрое действие – оповещение, в случае нештатной ситуации на объекте, происходит путём дозвона GSM сигнализации на телефон "администратора". В качестве "администратора" может выступать любой абонент связи, имеющий подключенный сотовый, или стационарный телефонный аппарат. "Администратор" – это сам хозяин;
- удобство – отсутствуют кнопки (и провода) для постановки/снятия в режим охраны – постановка/снятие в режим охраны – дистанционная – с помощью дозвона "администратора" на GSM сигнализацию;
- отсутствуют микропереключатели конфигурации GSM сигнализации – вся настройка в памяти сотового телефона, который подключен к GSM контроллеру;
- автономность – при пропаже внешнего питающего напряжения, GSM сигнализация продолжает работать, т. к. GSM контроллер питается от аккумулятора сотового телефона;
- информативность – при дозвоне "администратора" на GSM сигнализацию (в случае постановки/снятия в режим охраны), а также при дозвоне GSM сигнализации на телефон "администратора" (при возникновении нештатной ситуации в режиме охраны) передаются звуковые сигналы, информирующие о состоянии GSM сигнализации/объекта;
- экономичность – при эксплуатации практически не требует денежных средств;
- простота и надёжность – основой GSM сигнализации является высоконадёжный PIC16F628. Минимизировано количество внешних электронных компонентов. Присутствует защита от переплюсовки. Входные цепи от датчиков также защищены;

- доступность - по сравнению с аналогичными является одной из самых дешёвых;
- многофункциональность – помимо основной функции, встроена функция реле.

Включение/выключение выходного реле осуществляется путём дозвона "администратора" на GSM сигнализацию;

• минимальное потребление электрической энергии – основой GSM контроллера является PIC16F628, эти микроконтроллеры одни из самых экономичных в потреблении электрической энергии;

• зависимость от сотовых сетей – должен быть обеспечен достаточный уровень сотового сигнала. Но с каждым днём, областей с малым уровнем сигнала, становится всё меньше и меньше;

• зависимость от электрической энергии – хотя при отсутствии внешнего питания GSM контроллер и питается от аккумулятора сотового телефона, но вечных батарей всё-таки ещё не существует.

И третья – на основе «Умной розетки» и мобильного телефона на операционной системе Android. Метод психологический, а не прямое оповещение как с герконом или GSM связью.

«Умная розетка» позволяет управлять бытовыми электроприборами в радиусе действия *bluetooth* с телефона андроид, с минимальными требованиями к бюджету и монтажу. Не потребуются использовать никакие централизованные промежуточные элементы в управлении, т.к. коммуникация между телефоном и розеткой осуществляется непосредственно и напрямую. К розетке можно подключить любые "простые" электроприборы, которые включаются от подачи электроэнергии на вход и не боятся обесточивания (не компьютеры, принтеры и другая "сложная" периферия). Рекомендуется подключать приборы, которые в обычных условиях перманентно или сезонно подключены к розетке и для управления, к которым приходится подходить: музыкальный центр, обогреватель, вентилятор, вечерняя подсветка и т.д.

Схема «Умной розетки» изображена на рисунке 3.

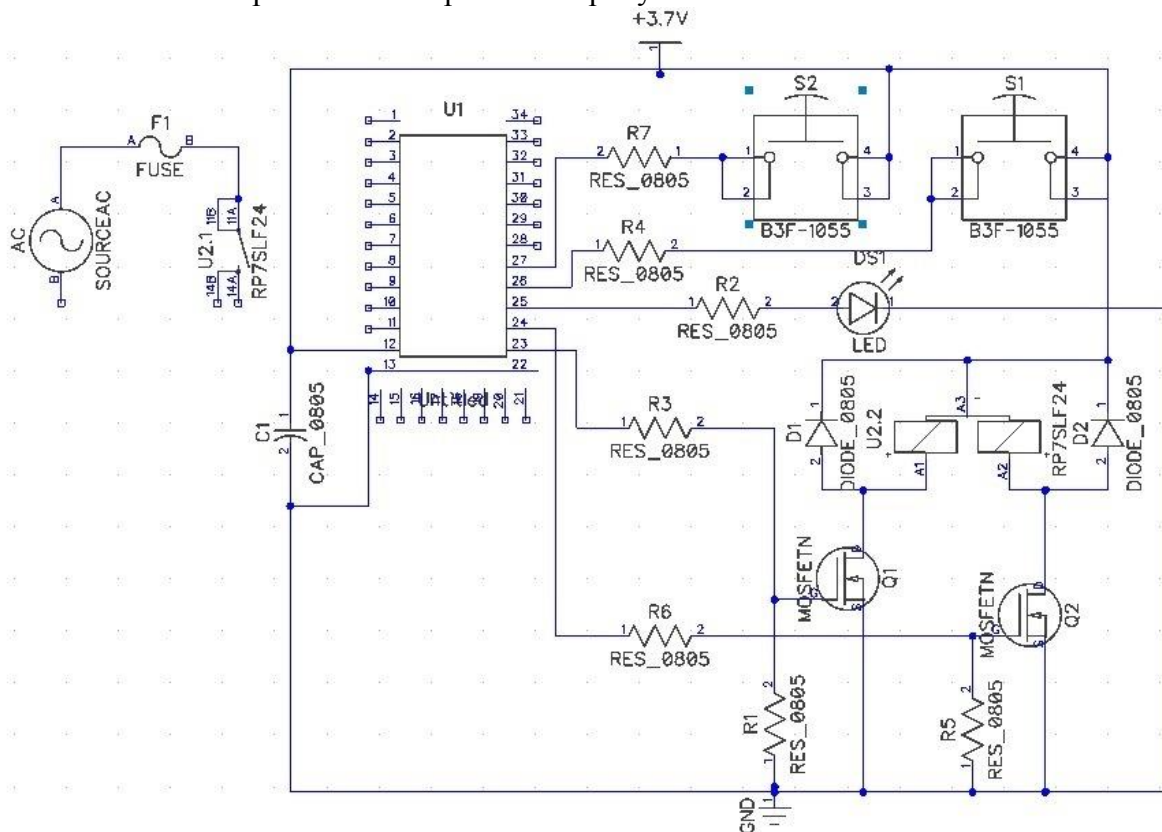


Рисунок 3. Схема «Умной розетки»

Возможности приложения позволяют задать время подачи электроэнергии и время отключения. Задавать можно сколько угодно промежутков.

Грабитель задумается, прежде чем грабить дом в котором играет музыкальный центр и включается\выключается музыка. То есть можно включить к умной розетке музыкальный центр или светильник и задавать время включения. Если у вас имеется разные электрические приборы и богатое воображение можно придумать ещё что-нибудь.

#### Литература

1. <http://www.agrg.ru/solutions>
2. <http://24gadget.ru/1161052159-lenovo-vypustila-v-prodazhu-planshet-ideapad-a1107-9-foto.html?from=readme>
3. <http://bazila.net/energetika-i-radioelektronika/prostaya-signalizatsiya-dlya-doma-dachi-garazha-svoimi-rukami.html>
4. <http://www.bastion.kiev.ua/Main/Company/Publication/Types>
5. <http://www.bastion.kiev.ua/Main/Company/Publication/Types>

УДК 621.316.99

## ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лихачевская А.А., Винникова А.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Ферромагнетик – вещество или материал, в котором наблюдается явление ферромагнетизма, т. е. появление спонтанной намагниченности при температуре ниже температуры Кюри [1].

К ферромагнетикам относят переходные элементы – Fe, Co, Ni, некоторые редкоземельные элементы (Gd, Dy, Tm, Ho); металлические бинарные и многокомпонентные сплавы и соединения перечисленных металлов между собой и с другими неферромагнитными элементами; аморфные сплавы, в том числе металлические стёкла.

Случайно или преднамеренно намагниченные детали из ферромагнитных материалов перед сборкой из них различных устройств обычно размагничивают. Это нужно для устранения влияния остаточных магнитных полей на работу устройства из-за прилипания к деталям ферромагнитных частиц. Размагничивают также образцы, служащие для определения магнитных свойств материалов, так как эти свойства зависят от магнитной предыстории образцов.

Детали или образцы считаются размагниченными, если векторы намагниченности областей самопроизвольного намагничивания располагаются в них хаотически и средняя намагниченность в любом их сечении равна нулю или меньше величины, заданной техническими условиями или другим нормативными документами.

Даже полностью размагниченный магнетик имеет некую элементарную намагниченность, распределенную по всему его объему. Эта самопроизвольная намагниченность, обусловленная обменным взаимодействием электронов, из-за существования других взаимодействий (магнитокристаллического, магнитоупругого и магнитостатического) обычно неоднородна по всему объему, т.е. имеет место распределение намагниченности по кристаллографическим направлениям, соответствующим минимуму полной энергии магнетика.

Технологии изменения магнитного состояния материалов очень давно и активно развиваются в отраслях, связанных с изготовлением постоянных магнитов (электротехнической, приборостроительной, электронной и др.), а также там, где намагниченность является нормируемым параметром (в судостроении). Размагничивание – это процесс, в результате которого под воздействием внешнего магнитного поля уменьшается намагниченность магнитного материала. Существуют три основных принципиальных способа размагничивания ферромагнитных материалов: механический, температурный и электромагнитный.

Механический метод заключается в размагничивании материала под действием циклических, механических нагрузок. Однако он неприменим для размагничивания деталей и готовых изделий по техническим условиям.

Температурный метод заключается в нагреве образца выше температуры, при которой у ферромагнитных доменов нарушается единое направление ориентации, так называемой температуры Кюри. Вещество при этом полностью теряет свои ферромагнитные свойства. После чего происходит охлаждение в отсутствии внешнего поля. Преимуществом такого способа является наиболее полное размагничивание материалов, однако в большинстве случаев такой способ размагничивания недопустим, так как в результате нагрева могут измениться механические и другие свойства материала. Например, для железа температура Кюри составляет  $768^{\circ}\text{C}$ , и такой метод размагничивания в большинстве случаев (в частности, при размагничивании подшипников) оказывается неприемлемым из-за потери заданных механических свойств.

Электромагнитных способа два. Это размагничивание:

- компенсирующим постоянным магнитным полем;
- переменным магнитным полем (импульсный метод размагничивания).

Размагничивание компенсирующим постоянным магнитным полем заключается в создании размагничивающего поля, направленного против поля остаточного магнетизма ферромагнетика. В результате воздействия магнитного поля уровень первоначальной намагниченности детали компенсируется до допустимой величины.

Метод размагничивания компенсирующим постоянным полем может быть реализован магнитным полем, образуемым постоянным током, магнитным полем электромагнита или поля постоянных магнитов.

Преимуществом компенсационного метода размагничивания является сравнительно невысокая мощность размагничивающих установок. Можно выделить следующие недостатки:

- сложность размагничивания при неравномерном распределении остаточной намагниченности в детали; вредное влияние неоднородностей материала на остаточную намагниченность после размагничивания;
- необходимость замера остаточной намагниченности каждой детали (как векторной величины);
- необходимость постоянного контроля в процессе размагничивания результата действия размагничивающего поля с корректировкой силы и направления тока.

Размагничивание переменным затухающим магнитным полем заключается в следующем: повторяя импульсы, уменьшая их амплитуду и меняя полярность, кривая намагниченности приводится в 0-точку размагниченного состояния. Магнитное состояние материала, полученное таким образом, называется динамически размагниченным состоянием, также этот метод характеризуется хорошей стабильностью размагниченного состояния. Таким образом, этот метод размагничивания ферромагнетиков основан на многократном изменении направления внешнего магнитного поля при одновременном плавном уменьшении его амплитуды от значений, обеспечивающих насыщение образца, до значений, практически близких к нулю.

Существует три способа реализации размагничивания переменным затухающим магнитным полем:

- непрерывное воздействие по времени;
- непрерывное воздействие в пространстве;
- импульсное воздействие по времени.

Размагничивание с непрерывным воздействием по времени реализуется при помощи магнитного поля, создаваемого убывающим по амплитуде переменным током. Катушка и деталь неподвижны относительно друг друга.

При непрерывном воздействии в пространстве затухание амплитуды магнитного поля обеспечивается перемещением источника переменного магнитного поля или размагничиваемого объекта друг относительно друга. С ростом расстояния от источника ослабевает магнитное поле. Такое размагничивание реализуется обычно при помощи электромагнитной катушки, сквозь которую пропускают размагничиваемые детали. Размагничивание по этому методу можно также реализовать при помощи системы постоянных магнитов, перемещаемых в пространстве определенным способом.

Размагничивание импульсным воздействием по времени реализуется с помощью магнитного поля катушки колебательного контура. После возбуждающего импульса начинаются колебательные процессы, при этом амплитуда переменного тока через катушку, а, следовательно, и магнитного поля затухают естественным путем. Метод используется при хорошей добротности контура размагничивающей системы.

Достоинствами метода размагничивания переменным полем являются:

- уменьшение влияния на размагничивание неоднородностей;

- отсутствие необходимости точного замера остаточной намагниченности материала перед размагничиванием.

Недостатки такого метода:

- необходимость расчета величины каждого последующего импульса, с учетом величины остаточного магнитного поля, сформированного предшествующим импульсом;
- большая мощность установок.

#### Литература

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ферромагнетик>
2. Мишин, Д.Д. Магнитные материалы [Текст]: учебное пособие / Д.Д. Мишин. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
3. Нестерин, В.А. Оборудование для импульсного намагничивания и контроля постоянных магнитов / В.А. Нестерин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 88 с.: ил.
4. Клюев, В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / В.В. Клюев. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
5. Неразрушающие испытания: Справочник [Текст]: в двух книгах / Под ред. Р. Мак-Мастера. – Л.: Энергия, 1965. – 504 с.

УДК 621.3.015.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Журо М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Резонансом называется такой режим электрической цепи, содержащей индуктивности и емкости, при котором ток на входе цепи совпадает по фазе с приложенным напряжением [1]. При резонансе реактивное сопротивление или реактивная проводимость цепи равна нулю, т.е. для источника питания цепь, несмотря на наличие в ней реактивных элементов, эквивалентна активному сопротивлению  $R$ . Резонанс сопровождается периодическим переходом энергии электрического поля емкости в энергию магнитного поля индуктивности, а от источника реактивная энергия и соответствующая ей реактивная мощность не потребляются. Частота, при которой возникает резонанс, называется резонансной частотой.

Резонанс напряжений наблюдается при последовательном соединении элементов, обладающих индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$ .

Резонанс токов возникает при параллельном соединении элементов, обладающих индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$ .

Теоретически все эти определения понятны, но что они значат для практических вопросов? Очень многое! Всем известно, что полезная работа в любой схеме выполняется активной составляющей мощности. При этом большая часть потребления энергии приходится на электродвигатели, которых на любом предприятии немало, а они содержат в своей конструкции обмотки, представляющие собой индуктивную нагрузку и создающие угол  $\varphi$ , отличный от нуля. Для того чтобы возник резонанс токов, необходимо скомпенсировать реактивные сопротивления таким образом, чтобы их векторная сумма стала нулевой. На практике это достигается включением конденсатора, который создает противоположный сдвиг вектора тока.

Резонанс токов имеет и другое, радиотехническое применение. Колебательный контур, составляющий основу каждого приемного устройства, состоит из катушки индуктивности и конденсатора. Меняя величину электрической емкости, можно добиться того, что сигнал с требуемой несущей частотой будет приниматься избирательно, а остальные всеволновые составляющие, принимаемые на антенну, включая и помехи, окажутся подавленными. На практике такой переменный конденсатор выглядит как два набора пластин, один из которых при вращении входит или выходит из другого, увеличивая или уменьшая при этом электрическую емкость. При этом создается резонанс токов, а радиоприемник оказывается настроенным на нужную частоту. На рисунке 1 приведены примеры бытовых приборов, в которых используется резонанс токов и напряжений.



Рисунок 1. Бытовые приборы, использующие резонанс токов и напряжений



На явлении резонанса основана работа многих электроизмерительных приборов.

На рисунке 2 приведена электрическая схема УКВ ЧМ тюнера, работающего в диапазоне 64-108 МГц, выполненного на микросхеме DA1 типа TDA7000, которая представляет собой интегрированный УКВ приемник, и микросхеме для УНЧ DA2 типа LM386N-1, представляющий одноканальный усилитель мощности низкой частоты. В данной схеме используется резонанс напряжений во входной цепи, состоящей из катушки индуктивности L2 и конденсатора C16 и резонанса токов в цепи гетеродина на индуктивности L1, конденсаторах C3-C4 и варикапе VD2 [2]. Настройка на радиостанцию производится с помощью многооборотного резистора R2, изменяющего напряжение на варикапе VD2, изменяя при этом его эквивалентную емкость.

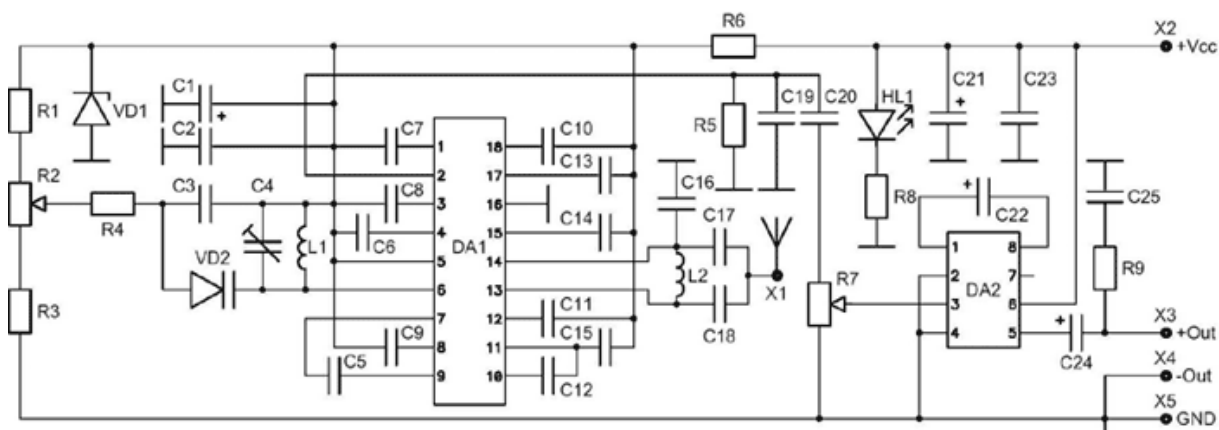


Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема УКВ ЧМ тюнера

Вибрация, возникающая в пьезокерамическом излучателе при резонансе, используется во многих приборах, например в ультразвуковой стиральной машине (УСУ) "Ретона", внешний вид которой изображен на рисунке 3 [3].

Технические характеристики УСУ "Ретона":

- Напряжение питания –  $220 \pm 15\%$ , частота 50 Гц.
- Потребляемая мощность – не более 5 Вт.
- Частота акустических колебаний излучателей  $F = 100 \text{ кГц} \pm 6 \text{ кГц}$ .
- Температура моющего раствора – не более  $90^\circ\text{C}$ .
- Режим работы - продолжительный, без ограничений.
- Масса изделия - не более 0.36 кг.

Ретона состоит из источника питания, излучателя и соединительного кабеля.



Рисунок 3. Ультразвуковая стиральная машина "Ретона"

УСУ состоит из источника питания, активатора с излучателем, соединительного кабеля.

Для стирки активатор помещается в середину емкости с моющим раствором и текстильными изделиями. Пьезокерамические излучатели возбуждают ультразвуковые колебания, образующие в растворе огромное количество микроскопических пузырьков, которые нарушают сцепление загрязненных микрочастиц с волокнами изделий и облегчают их удаление поверхностно-активными веществами моющего раствора стирального порошка или мыла. Таким образом, очищение волокон ткани происходит изнутри, что позволяет достигать высокой эффективности стирки.

Учитывая, что данное устройство не создает "привычных" шумовых и вибрационных эффектов, видимых перемещений воды, сопровождающих обычную стирку, работа с ним требует определенных навыков. Но двух-трех стирок будет достаточно для того, чтобы Вы преодолели этот психологический барьер и определили наилучшие методы работы.

На рисунке 4 изображена электрическая схема УСУ «Ретона».

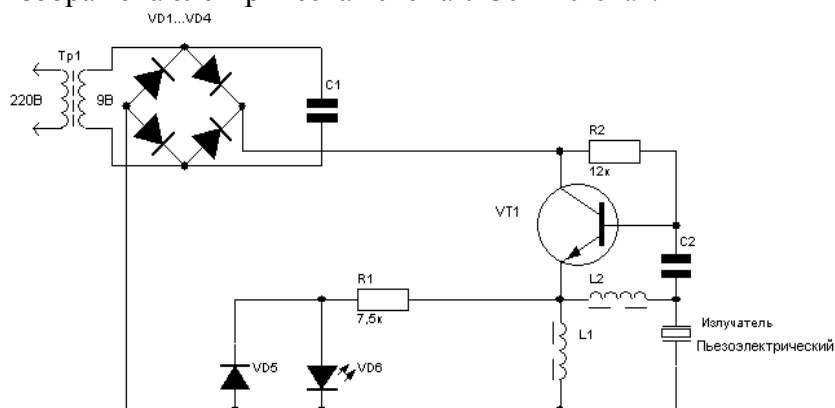


Рисунок 4. Принципиальная электрическая схема ультразвуковой стиральной машинки «Ретона»

Она состоит из силового понижающего трансформатора Tr1, мостового однофазного выпрямителя на диодах VD1-VD4, сглаживающего фильтра на конденсаторе C1 и втогенератора, на транзисторе VT1, резисторе R2, конденсаторе C2, индуктивностях L1 и L2 и пьезокерамическом излучателе.

Свечение светодиода VD6 свидетельствует о нормальной работе УСУ.

#### Литература

1. Новаш, И. В. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ по курсу «Электротехника и электроники» для студентов неэлектротехнических специальностей Часть 1 [Текст]: учебное пособие / И. В. Новаш [и др.]. – Минск 2007. – 66 с.
2. <http://www.chipinfo.ru/schems/comm/comm1.html>

УДК 621.3.077

## ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ТРАНСПОРТЕ

Пономарев Т.С., Кисель И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Тяговый электродвигатель (ТЭД) это электрический двигатель, предназначенный для приведения в движение транспортных средств [1]. Например, таких как электровозы, электропоезда, тепловозы, трамваи, троллейбусы, электромобили, большегрузные автомобили с электроприводом, танки и машины на гусеничном ходу с электропередачей, подъемно-транспортные машины, самоходные краны и т. п. Вращающиеся тяговые электродвигатели регламентируются по ГОСТ 2582-81 (кроме аккумуляторных погрузочно-разгрузочных машин, электротягачей, электротележек и теплоэлектрических автотранспортных систем).

Коллекторный ТЭД изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Коллекторный ТЭД

Основное отличие ТЭД от обычных электродвигателей большой мощности заключается в относительно трудных условиях их монтажа в ограниченном месте для их размещения. Это привело к специфичности их конструкций.

Тяговые двигатели городского и железнодорожного транспорта, а также двигатели мотор-колес автомобилей эксплуатируются в сложных погодных условиях, во влажном и пыльном воздухе. Также в отличие от электродвигателей общего назначения ТЭД работают в самых разнообразных режимах (кратковременных, повторно-кратковременных с частыми пусками), сопровождающихся широким изменением частоты вращения ротора и нагрузки по току. При эксплуатации тяговых двигателей имеют место частые механические, тепловые и электрические перегрузки, тряска и толчки. Поэтому при разработке их конструкции предусматривают повышенную электрическую и механическую прочность деталей и узлов, теплостойкую и влагостойкую изоляцию токоведущих частей и обмоток, устойчивую и надежную коммутацию двигателей. Кроме того ТЭД шахтных электровозов должны удовлетворять требованиям, относящимся к взрывозащищенному электрооборудованию. Тяговые двигатели должны иметь характеристики, обеспечивающие высокие тяговые и энергетические свойства (особенно КПД) подвижного состава. Развитие полупроводниковой техники открыло возможности перехода от двигателей с электромеханической коммутацией к бесколлекторным машинам с коммутацией при помощи полупроводниковых преобразователей. Разновидностью бесколлекторной машины является вентильный двигатель [2].

Вентильный электродвигатель (ВД) – это замкнутая электромеханическая система, состоящая из синхронной машины с синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре, датчика положения ротора, преобразователя координат и усилителя мощности [3].

Механическая и регулировочная характеристики вентильного двигателя линейны и идентичны механической и регулировочной характеристикам электродвигателя постоянного тока. Как и электродвигатели постоянного тока, вентильные двигатели работают от сети постоянного тока. ВД можно рассматривать как двигатель постоянного тока, в котором щёточно-коллекторный узел заменён электроникой, что подчёркивается словом «вентильный», то есть «управляемый силовыми ключами» (вентильми). Фазные токи вентильного двигателя имеют синусоидальную форму. Как правило, в качестве усилителя мощности применяется автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

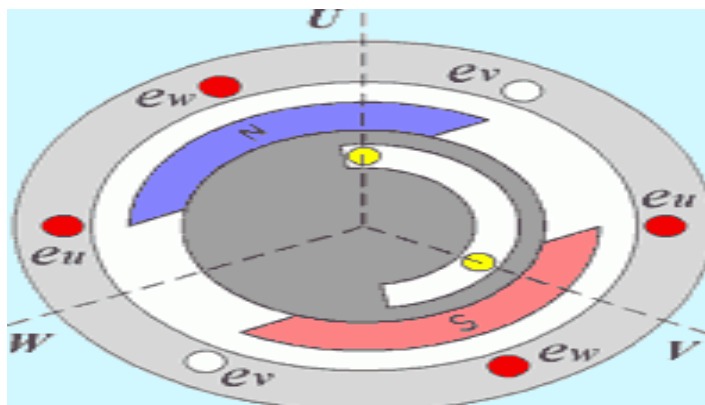


Рисунок 2 Принцип работы трёхфазного вентильного двигателя

Вентильный двигатель следует отличать от бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ), который имеет трапецеидальное распределение магнитного поля в зазоре и характеризуется прямоугольной формой фазных напряжений [4]. Структура БДПТ проще, чем структура ВД (отсутствует преобразователь координат, вместо ШИМ используется 120- или 180-градусная коммутация, реализация которой проще ШИМ).

В русскоязычной литературе двигатель называют вентильным, если противо-ЭДС управляемой синхронной машины синусоидальная, а бесконтактным двигателем постоянного тока, если противо-ЭДС трапецеидальная.

В англоязычной литературе такие двигатели обычно рассматриваются в составе электропривода и упоминаются под аббревиатурами PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) или BLDC (Brushless Direct Current Motor). Стоит отметить, что аббревиатура PMSM в англоязычной литературе чаще используется для обозначения самих синхронных машин с постоянными магнитами и с синусоидальной формой фазных противо-ЭДС, в то время как аббревиатура BLDC аналогична русской аббревиатуре БДПТ и относится к двигателям с трапецеидальной формой противо-ЭДС (если иная форма не оговорена специально).

Вентильный двигатель не является электрической машиной в традиционном понимании, поскольку его работа затрагивает ряд вопросов, связанных с теорией электропривода и систем автоматического управления. Это структурная организация, использование датчиков и электронных компонентов, а также программное обеспечение.

Вентильные двигатели, сочетают в себе надёжность машин переменного тока с хорошей управляемостью машин постоянного тока. Они являются альтернативой двигателям постоянного тока (ДПТ), которые характеризуются рядом изъянов, связанных со щёточно-коллекторным узлом (ЩКУ), таких как искрение, помехи, износ щёток, плохой теплоотвод якоря и т.д. Отсутствие ЩКУ в ВД позволяет применять их в тех приложениях, где использование ДПТ затруднено или невозможно.

Рассмотрим принцип работы двухфазного вентильного двигателя, структура которого показана на рисунке 3.

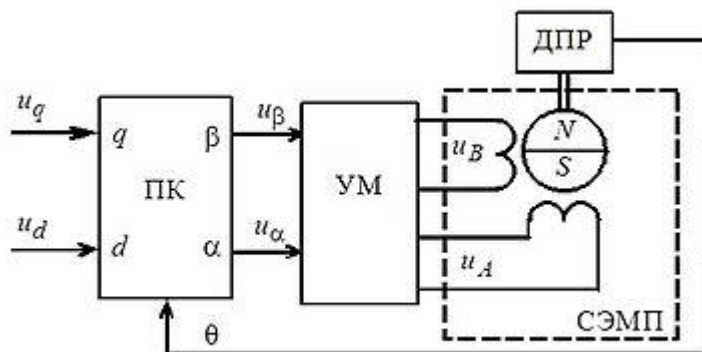


Рисунок 3 Структура двухфазного вентильного двигателя с синхронной машиной с постоянными магнитами на роторе: ПК – преобразователь координат, УМ – усилитель мощности, СЭМП – синхронный электромеханический преобразователь (синхронная машина), ДПР – датчик положения ротора

На входы преобразователя координат (ПК) поступает напряжение постоянного тока, действие которого аналогично действию напряжения на якорь и обмотку возбуждения двигателя постоянного тока. Сигналы, представляют собой проекции вектора напряжения управления на оси вращающейся системы координат, связанной с ротором ВД (а точнее – с вектором потока ротора). Преобразователь координат осуществляет преобразование проекций в проекции неподвижной системы координат, связанной со статором и является в этом случае заданием значения амплитуды фазных напряжений. А ПК, осуществляя позиционную модуляцию сигнала, формирует гармонические сигналы, которые УМ преобразует в фазные напряжения. Синхронный двигатель в составе вентильного двигателя часто называют синхронным электромеханическим преобразователем (СЭМП).

Как правило, электронная часть ВД коммутрует фазы статора синхронной машины так, чтобы вектор магнитного потока статора был ортогонален вектору магнитного потока ротора. При этом осуществляется т. н. векторное управление. При соблюдении ортогональности потоков статора и ротора обеспечивается поддержание максимального вращающего момента ВД в условиях изменения частоты вращения. Это предотвращает выпадение ротора из синхронизма и обеспечивает работу синхронной машины с максимально возможным для неё КПД. Для определения текущего положения потока ротора вместо датчика положения ротора могут использоваться токовые датчики.

Электронная часть современного ВД содержит микроконтроллер и транзисторный мост. Для формирования фазных токов используется принцип ШИМ. Микроконтроллер отслеживает соблюдение заданных законов управления, а также производит диагностику системы и её программную защиту от аварийных ситуаций.

Иногда датчик положения ротора отсутствует, а положение оценивается системой управления по измерениям токовых датчиков с помощью наблюдателей (т. н. «бездатчиковое» управление ВД). В таких случаях, за счёт удаления дорогостоящего и, зачастую, громоздкого датчика положения, уменьшается цена и массо-габаритные показатели электропривода с ВД, однако усложняется управление, снижается точность определения положения и скорости.

В приложениях средней и большой мощности в систему могут дополнительно включаться электрические фильтры для смягчения негативных эффектов ШИМ: перенапряжений на обмотках, подшипниковых токов и снижения КПД. Впрочем, это характерно для всех типов двигателей.

Благодаря высокой надёжности и хорошей управляемости, вентильные двигатели применяются в широком спектре приложений: от компьютерных вентиляторов и CD/DVD-

приводов до роботов и космических ракет. Широкое применение ВД нашли в промышленности, особенно в системах регулирования скорости с большим диапазоном и высоким темпом пусков, остановок и реверса; авиационной технике, автомобильном машиностроении, биомедицинской аппаратуре, бытовой и некоторой другой технике.

*Достоинства:*

- широкий диапазон изменения частоты вращения;
- отсутствие узлов и контактов, требующих частого обслуживания (коллектора);
- возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде;
- большая перегрузочная способность по моменту;
- высокие энергетические показатели (КПД выше 90 %);
- большой срок службы и высокая надёжность за счёт отсутствия скользящих электрических контактов.

Вентильные двигатели характеризуются и некоторыми недостатками, главный из которых – высокая стоимость. Однако, говоря о высокой стоимости, следует учитывать и тот факт, что вентильные двигатели обычно используются в дорогостоящих системах с повышенными требованиями по точности и надёжности.

*Недостатки:*

• Высокая стоимость двигателя, обусловленная частым использованием дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора. Стоимость электропривода с ВД, однако, сопоставима со стоимостью аналогичного электропривода на основе ДПТ с независимым возбуждением (регулируемые характеристики такого двигателя и ВД сопоставимы). Вообще говоря, в вентильном двигателе может быть использован и ротор с электромагнитным возбуждением, однако это сопряжено с комплексом практических неудобств. В ряде случаев предпочтительным оказывается применение асинхронного двигателя с преобразователем частоты.

- Относительно сложная структура двигателя и управление им.

### Литература

1. Герман-Галкин, С.Г. Модельное проектирование синхронных мехатронных систем: Глава 9 / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-903383-39-9.
2. Борцов, Ю.А. Адаптивно-модальное управление в следящих системах с бесконтактными моментными двигателями // Автоматизированный электропривод с упругими связями: Глава 8 / Ю.А. Борцов, Г.Г. Соколовский. – 2-ое изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с. – ISBN 5-283-04544-7.
3. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: "Академия", 2006. – 272 с. – ISBN 5-7695-2306-9.
4. Микеров, А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности [Текст]: учебное пособие / А.Г. Микеров. – СПб.: СПбГЭТУ, 1997. – 64 с.

УДК 621.321

## УСТРОЙСТВО, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Лойкуц Е.А., Сташкевич О.С, Аниськова В. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г. А.

Светодиодное освещение все шире используется на производстве и в быту. В светодиодной лампе устанавливается несколько светодиодов для получения требуемой яркости свечения.

Светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток в световое излучение. Так как светодиод является полупроводниковым прибором, то при включении его в цепь необходимо соблюдать полярность.

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла, подложки, корпуса с контактными выводами и оптической системы.

### Принцип работы светодиода:

• при рекомбинации электронов и дырок в области  $p$ - $n$ -перехода возникает свечение. Чем больший ток проходит через светодиод, тем он светит ярче и тем больше электронов и дырок поступают в зону рекомбинации в единицу времени;

• происходит контакт двух полупроводников с разными типами проводимости;

• слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую – донорскими;

• после того, как через прямо смещённый  $p$ - $n$  переход пошёл ток, выделяется энергия в виде излучения кванта света – фотона.

Яркость светодиода характеризуется световым потоком и осевой силой света, а также диаграммой направленности. Светодиоды разных конструкций излучают обычно от 4 до 140 градусов.

С повышением температуры  $p$ - $n$ -перехода яркость светодиода падает, потому что уменьшается внутренний квантовый выход из-за влияния колебаний кристаллической решетки. Поэтому очень важно наличие хорошего теплоотвода  $p$ - $n$ -перехода. Падение яркости с повышением температуры не одинаково у светодиодов разных цветов. Поэтому, ток через светодиод нужно стабилизировать. Если ток превысит допустимый предел, то перегрев светодиода может привести к его ускоренному старению.

Цвет свечения светодиода зависит от внесенных в полупроводник легирующих примесей. Так, например, примеси алюминия, гелия, индия и фосфора заставляет светиться светодиод от красного до желтого цвета. Индий, галлий и азот заставляет светиться светодиод от голубого до зеленого цвета.

Суммарный цвет определяется координатами цветности и цветовой температурой, а также длиной волны излучения.

Существуют три способа получения белого цвета от светодиодов. Первый – смешивание цветов по системе  $RGB$ . На одной матрице плотно располагаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается с помощью оптической системы, например линзы. Таким образом, получается белый цвет.

Второй способ – за основу берутся три светодиода, которые излучают ультрафиолетовый цвет. На поверхность каждого из светодиодов наносится покрытие из люминофора синего, зеленого и красного цвета. Так получается белое свечение.

Третий способ – за основу берется синий светодиод, на его поверхность наносится зеленый и красный люминофор. Таким образом, люминофор начинает светиться тремя цветами, а при смешивании этого свечения линзой получается белый цвет.

Основная технология выращивания кристаллов и впоследствии изготовления светодиодных модулей – металлоорганическая эпитаксия. Разные слои легируются примесями, донорами или акцепторами, чтобы создать  $p$ - $n$ -переход с большой

концентрацией электронов в *n*-области и дырок – в *p*-области. Пленка, выращенная на одной подложке, разрезается на несколько тысяч чипов.

Для увеличения светового потока используется СОВ-технология. Она позволяет максимально приблизить чип к поверхности. Светодиод, изготовленный по СОВ-технологии, изображен на рисунке 2.

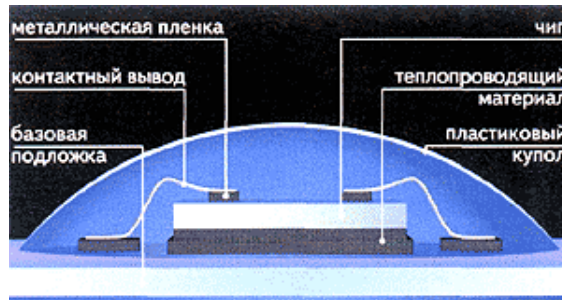


Рисунок 2 Светодиод, изготовленный по СОВ-технологии

Светодиоды, монтируются (приклеиваются) на общую подложку. Затем эта структура становится светодиодным модулем.

Использование мощных светодиодов совместно с полупроводниковыми преобразователями привело к созданию источников света, выдерживающих конкуренцию с лампами накаливания. Такие приборы достаточно просты и содержат небольшое количество деталей.

На рисунке 3 изображена схема импульсного блока питания для питания светодиодной лампы на микросхеме *LT3799* мощностью 20 Вт.

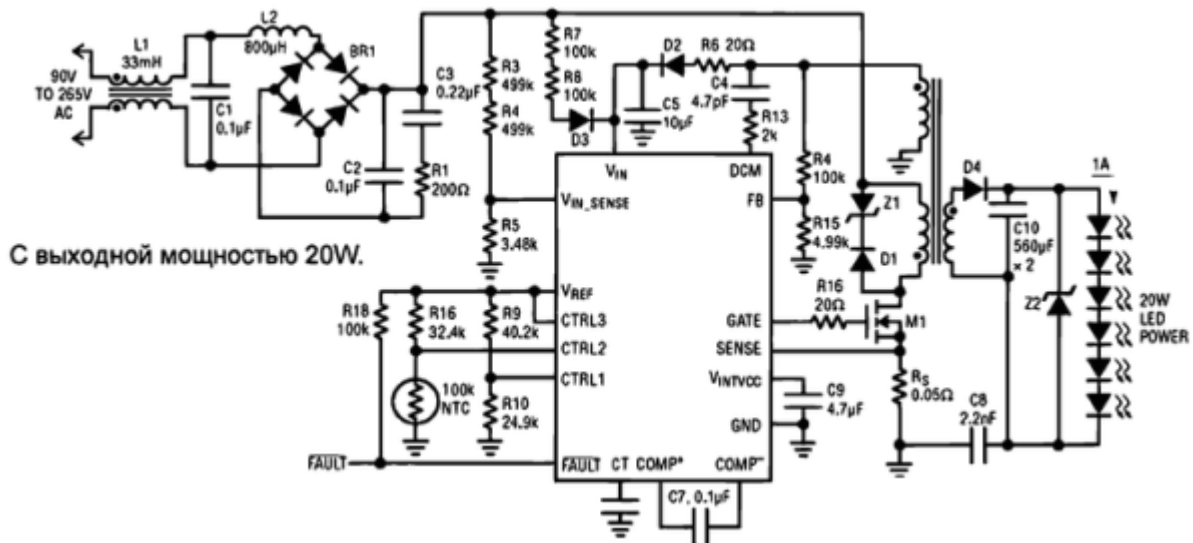


Рисунок 3 – Схема импульсного преобразователя для питания светодиодной лампы

Преобразователь, подключенный к осветительной сети 90÷263 В, обеспечивает на выходе заданное напряжение при токе нагрузки 1 ампер.

Использование данного преобразователя позволяет отказаться от применения понижающего низкочастотного трансформатора, что значительно уменьшает габариты всего устройства в целом.

Для питания светодиодов может использоваться мостовой выпрямитель с емкостным балластом, который ограничивает выходной ток. Такие источники питания экономичны и просты, не боятся коротких замыканий, их выходной ток ограничивается емкостным сопротивлением конденсатора. Подобные выпрямители часто называют стабилизаторами тока.



Типичная схема такого выпрямителя изображена на рисунке 4 [1].

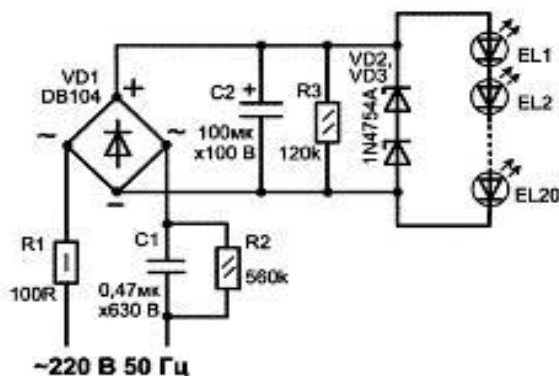


Рисунок 4 Схема блока питания светодиодной лампы с емкостным балластом

На многих упаковочных коробках и инструкциях по применению сетевых светодиодных ламп написано, что их нельзя подключать к обычным сетевым фазоимпульсным регуляторам, предназначенных для ламп накаливания. Это связано с особенностью работы их блоков питания.

Для регулировки яркости светодиодной лампы необходимо использовать специальный управляющий блок, предназначенный для нее, основанный на методе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Метод ШИМ основывается на изменении импульсно-модулированного тока, чья частота должна изменяться в тысячах герц. За счет изменения ширины импульсов и создания паузы между постоянным током можно регулировать яркость светодиодной лампы в широких пределах, не доводя ее до полного погасания.

**Преимущества** светодиодных ламп заключаются в том, что в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и происходит это с очень малыми потерями, т.е. у них высокая световая отдача. Так же, у светодиодных ламп высокая механическая прочность из-за отсутствия нити накаливания и нечувствительность к низким температурам. Они экологичны и безопасны в использовании – в них нет ртути, фосфора и ультрафиолетового излучения при работе и нет необходимости в высоком напряжении питания. Имеют различный угол излучения – от 15 до 180 градусов. Электропотребление светодиодных ламп в 9-12 раз меньше, чем у ламп накаливания и в среднем в 3 раза меньше, чем у люминесцентных ламп.

Самый существенный **недостаток** светодиодных ламп такого типа – это их высокая цена. Так же, практика показывает, что срок службы таких ламп далеко не 100000 часов, как часто обещает производитель. При частом использовании (в среднем 8 часов в день) светодиодные лампы быстро (за 3-6 лет) теряют яркость, так как существует такое явление как деградация, т.е. постепенное умирание кристаллов светодиодов. Особенно это характерно для ламп с повышенным током потребления. Для освещения нужно довольно большое количество ламп, чтобы получить привычную освещенность. Для стабильной и долговечной работы таких светильников нужно применять сравнительно дорогие источники питания и системы охлаждения. Так как часто используются импульсные источники питания, из-за больших перепадов напряжения они могут выходить из строя. Недорогие светодиодные лампы питающиеся от сетевого напряжения и не имеющие импульсного высокочастотного блока питания могут создавать эффект мерцания, из-за отсутствия инерционности в работе, который может негативно проявиться при фотосъемке или при рассмотрении мелких вещей на рабочем столе.

#### Литература

1. <http://elektrik.info/main/praktika/>

УДК 621.397.132

## ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Юркевич К.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Прогресс не стоит на месте. Первые телевизионные системы, использовавшие механический принцип, по современным меркам обеспечивали неважное качество изображения, и телезрители с трудом могли рассмотреть расплывчатые силуэты на экране. Но это были временные трудности. Активно развиваться телевидение начало лишь тогда, когда стало чисто электронным.

Привычное для нас аналоговое электронное телевидение постепенно достигло такого качества, что, казалось, дальше совершенствовать его невозможно. Однако тенденция вытеснения аналоговых способов передачи информации не обошла стороной и телевидение. На смену аналоговому телевидению постепенно приходит цифровое. Время идёт, и цифровые технологии не стоят на месте. В том числе и телевизионные.

**Цифровое телевидение** – технология передачи телевизионного изображения и звука при помощи кодирования видеосигнала и сигнала звука с использованием цифровых каналов. Основой современного цифрового телевидения является стандарт сжатия данных MPEG.

Способы передачи цифрового сигнала:

- Эфирное наземное телевидение – DVB-T и DVB-T2.
- Спутниковое телевидение.
- Кабельное телевидение.

### **Преимущества и недостатки.**

Преимущества по сравнению с аналоговым телевидением:

- Повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов.
- Уменьшение мощности передатчиков.
- Существенное увеличение числа ТВ-программ, передаваемых в том же частотном диапазоне.
  - Повышение качества изображения и звука в ТВ-приёмниках.
  - Создание ТВ-систем с новыми стандартами разложения изображения (телевидение высокой чёткости).
    - Создание интерактивных ТВ-систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу).
      - Функция «В начало передачи».
      - Архив ТВ-передач и запись ТВ-передач.
      - Передача в ТВ-сигнале различной дополнительной информации.
      - Выбор языка (более обычных двух) и субтитров.
      - Расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры.
      - DVB-T – дает нам возможность устойчивого приема в автомобиле. Картинка даже при отраженном сигнале – будет приниматься уверенно (и показывать четко).

Недостатки:

- Замирания и рассыпания картинки на «квадратики» при недостаточном уровне принимаемого сигнала, данные либо принимаются качественно на 100% или восстанавливаются, либо принимаются плохо с невозможностью восстановления.
- Для приема телевидения на движущихся объектах (автомобили, машины, поезда) – должны применяться специальные DVB-T ресиверы и специальные антенны. Они стоят существенно дороже.

**Распространение цифрового телевизионного сигнала в Беларуси.**

В Беларуси с 1 июля 2005 года на 48-м телеканале с телевизионной вышки Колодищи была начата постоянная эфирная трансляция пакета телевизионных и радиовещательных программ в цифровом формате DVB-T.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1406 от 08.12.2005 г. была утверждена «Государственная программа внедрения цифрового телевизионного радиовещания в Беларуси до 2015 года». Было организовано производство цифровых телевизионных приставок с поддержкой стандарта DVB-T и формата сжатия MPEG-4 AVC несколькими белорусскими производителями. Отладку системы передачи цифрового телевидения в Беларуси осуществляет (на начало 2011 года) ОАО «Минские телевизионные информационные сети» (МТИС). Закуплена цифровая станция, множество антенн для приёма спутниковых цифровых телепрограмм.

В сентябре 2009 года «цифра» стала доступна во всех областных центрах республики. На начало 2011 года, при наличии телевизора со встроенными (STB) приемниками, некоторые телеканалы можно просматривать в новом формате (тестовый режим). По состоянию на 1 апреля 2011 года охват населения республики эфирным цифровым телевизионным вещанием составлял 94 %. В состав белорусского цифрового мультиплекса входят восемь обязательных общедоступных телеканалов и один радиоканал. Мультиплекс транслируется в стандарте DVB-T. В будущем планируется трансляция телеканалов HD-качества. На 1 января 2014 года охват населения составил 97,41%.

В 2015 году страна перешла исключительно на цифровое вещание. По состоянию на май 2015 года все аналоговые передатчики демонтированы.

На рисунке 1 изображены разновидности цифровых форматов для телевидения, применяемых в мире.

### Распространение цифрового телевидения.

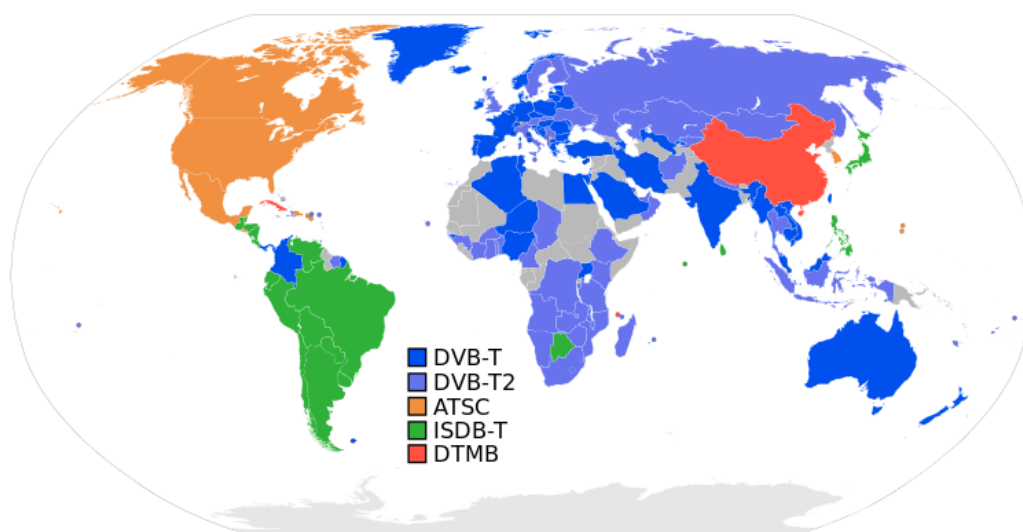


Рисунок 1 – Распространение цифрового сигнала в мире

### Литература

1. Пескин А. Е., Смирнов А. В. Цифровое телевидение. От теории к практике. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – С. 349.
2. F.A.Q. (Частые вопросы и ответы) на тему приема HDTV эфирного DVB-T телевидения. [http://www.sat.com.ru/publicat/dvbt\\_hdtv\\_faq.html#1](http://www.sat.com.ru/publicat/dvbt_hdtv_faq.html#1)
3. Белорусский радиотелевизионный передающий центр <http://www.brtpc.by/services/television/digital/>

УДК 620.179.141

## ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ДЕФЕКТΟΣКОПОВ

Пусь А.В., Цвирко А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Дефектоскоп – устройство для обнаружения дефектов в изделиях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля. К дефектам относятся нарушения сплошности или однородности структуры, зоны коррозионного поражения, отклонения химического состава и размеров и др. [1].

Магнитный дефектоскоп (МД) – аппарат для обнаружения поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности стальных изделий магнитно-порошковым методом. Основными элементами МД являются устройства для намагничивания, нанесения магнитной суспензии и размагничивания контролируемых изделий. Все устройства монтируются в одном аппарате, но в некоторых случаях выполняются в виде отдельных агрегатов. Современные образцы МД снабжены ультрафиолетовыми лампами и затемняющими шторами, необходимыми при магнитно-люминесцентной дефектоскопии.

В зависимости от назначения МД разделяются на универсальные и специализированные, а конструктивно оформляются как стационарные и переносные. Габариты магнитных дефектоскопов определяются габаритами контролируемых изделий, так, например, длина некоторых МД достигает 5–10 м. Намагничивающее устройство МД обеспечивает продольное, циркулярное и комбинированное намагничивание.

Циркулярное намагничивание осуществляется пропусканием через изделие, а для полых изделий – через помещаемый внутри стержень электрического тока большой силы (до нескольких тысяч А) от источника низкого (до 36 В) напряжения (понижающего трансформатора, аккумуляторной батареи и др.). Для продольного намагничивания в МД используются электромагниты или соленоиды. Комбинированное намагничивание осуществляется при одновременном воздействии на контролируемую деталь двух или трех взаимно перпендикулярно направленных переменных магнитных полей, сдвинутых по фазе на 90° или 60°. Иногда вместо одного из переменных полей применяется постоянное поле. Магнитный порошок наносится погружением намагниченного изделия в ванну с суспензией, иногда изделие поливают суспензией из шланга; во избежание оседания магнитного порошка на дно ванны.

Размагничивание проконтролированного изделия производится чаще всего продвижением его через соленоид. Крупные изделия размагничиваются с помощью намагничивающего устройства плавным уменьшением питающего тока от максимального, значения до нуля. Наиболее эффективны МД универсального типа: УМДЭ-10000 (для контроля крупных и средних по размеру изделий) и УМДЭ-2500 (для контроля изделий малого и среднего размеров). Эти МД снабжены электронным управлением, обеспечивающим плавную регулировку намагничивающего тока, а также полную стабильность остаточного намагничивания контролируемых изделий.

Дефектоскоп содержит блок питания, электромагнит и индикаторный пакет. Индикаторный пакет содержит магнитную жидкость. На торцах электромагнита в его межполюсном пространстве упруго закреплена плоская катушка, стирающая изображения в индикаторном пакете после использования. Индикаторный пакет подвешен к нижней плоскости катушки. В верхней части электромагнита выполнено смотровое окно.

Дефектоскоп позволяет повысить производительность контроля и уменьшить расход дефектоскопических материалов за счет возможности многократной записи и стирания изображения. Изображение в пакете благодаря большой вязкости среды может сохраняться в течение нескольких суток и служить документальным подтверждением наличия дефекта в изделии [2,3].

Магнитно-порошковые дефектоскопы позволяют контролировать различные по форме детали, сварные швы, внутренние поверхности отверстий, намагничивая отдельные участки изделия в целом циркулярным или продольным полем, создаваемым с помощью набора намагничивающих устройств, питаемых импульсным или постоянным током, или с помощью постоянных магнитов [4,5].

Принцип действия магнитно-порошкового дефектоскопа основан на создании поля рассеяния над дефектами с последующим выявлением их магнитной суспензией. Наибольшая плотность магнитных силовых линий поля рассеяния наблюдается непосредственно над дефектом и уменьшается с удалением от нее. Для обнаружения дефекта на поверхность детали наносят магнитный порошок, взвешенный в воздухе (сухим способом) или в жидкости (мокрым способом). В магнитном поле частицы намагничиваются и соединяются в цепочки. Под действием результирующей силы частицы накапливаются над трещиной, образуя скопление порошка. По этому осаждению – индикаторному рисунку – определяют наличие дефектов.

Используются такие магнитные индикаторы, как магнитный порошок – порошок из ферромагнетика, используемый в качестве индикатора магнитного поля рассеяния. Магнитная паста – смесь, содержащая магнитный или люминесцентный магнитный порошок, жидкую основу и, при необходимости, смачивающую антикоррозийную и другие добавки. Магнитная суспензия – взвесь магнитного или люминесцентного магнитного порошка в дисперсионной среде (в жидкости – воде, керосине, техническом масле и др.), содержащей смачивающие, антикоррозийные и, при необходимости, антивспенивающие, антикоагулирующие и флуоресцентные добавки [6,7].

Новшества магнитных дефектоскопов [8]:

- активная система регулирования скорости;
- применение бесконтактной многоканальной профилометрии;
- контроль уровня намагниченности,
- использование магнитных снарядов с поперечным намагничиванием.

#### Литература

1. <http://machinepedia.org/index.php/Дефектоскоп>
2. <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-2/275.htm>
3. Шелихов, Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов [Текст]: Практическое пособие / Г.С. Шелихов; Под ред. В.Н. Лозовского. – М.: Науч.-техн. центр “Эксперт”, 1995.– 219,[5] с. ил 21 см.
4. <http://techdiagnostica.ru/stati/defectoscope.html>
5. Клюев, В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / В.В. Клюев. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
6. Испытательная техника: справочник [Текст]: в 2-х т. / Г.С. Батуев [и др.]; Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.
7. Неразрушающие испытания: справочник [Текст]: в 2-х т. / Под ред. Р. Мак-Мастера. Л.: Энергия, 1965. – 504 с.

УДК 520.626

## ТИПЫ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Пупейко Е.В., Сасковец А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Рентгенофлуоресцентные спектрометры, в которых выделение характеристического излучения происходит с помощью кристаллов-монокроматоров называются волнодисперсионными или ВД РФС (WDXRF). В свою очередь, ВД РФ-спектрометры делятся на спектрометры последовательного и параллельного (квантометры) типа.

Рассмотрим спектрометры последовательного действия (со сканирующим каналом).

На таких спектрометрах осуществляется последовательное выделение каждой характеристической линии рентгеновского излучения любого числа элементов с помощью движущегося кристалла-монокроматора и высокоточного гониометра (прибора для измерения углов), сопряженного с устройством вращения, управляемого компьютером.

Преимущества ВД-спектрометров последовательного действия:

- оптимальные условия измерения программируются для каждого элемента;
- универсальность – определение любого числа элементов;
- очень высокая чувствительность, низкие уровни детектирования;
- меньшая стоимость относительно параллельных спектрометров.

Спектрометры параллельного типа (одновременного действия – с фиксированными каналами).

С помощью параллельных WDXRF-спектрометров измерения осуществляются одновременно (параллельно). Интенсивности характеристического излучения элементов измеряются одновременно благодаря использованию нескольких настроенных фиксированных "каналов" расположенных вокруг образца.

Фактически каждый канал является отдельным спектрометром с кристаллом-монокроматором и детектором, настроенными на прием определенной длины волны одного элемента.

Преимущества параллельных спектрометров:

- высочайшая скорость анализа при использовании для поточного контроля качества в индустрии - экспресс-анализ технологического процесса;
- малое количество движущихся частей, прекрасная надежность в условиях промышленного предприятия.

Сейчас рассмотрим энергодисперсионные (ЭД) спектрометры.

Преимущества ЭД-спектрометров:

- значительно меньшая стоимость, по сравнению с волнодисперсионными РФ-спектрометрами;
- компактность, удобство, простота, возможность изготовления настольных и портативных версий;
- точность и чувствительность при измерении тяжелых элементов не хуже, чем на волнодисперсионных РФ-спектрометрах (и даже лучше – в случае измерений прибором Epsilon5 тяжелых элементов в легких матрицах).

Рассмотрим спектрометры «МСА I» и «МСА II».

Универсальные настольные спектрометры «МСА I» и «МСА II» предназначенных для небольших литейных цехов.

Компактные спектрометры «МСА I» и «МСА II» с воздушным полихроматором и аргоновым столиком для точного анализа черных и цветных металлов.

МСА – компактный спектрометр на ПЗС-линейках, сконструированный для замены МФС-8 и ДФС-51. Его назначение – получение за 1–2 минуты точного состава разных материалов при входном контроле, выплавке, анализе продукции:

- сталей и чугунов всех марок;

- меди и ее сплавов (латуни, бронзы ...);
- алюминия и алюминиевых сплавов;
- свинца, олова и сплавов на их основе;
- сплавов на основе титана, магния и других металлов;
- драгоценных металлов, порошков.

Рассмотрим преимущества прибора:

• Высокие аналитические характеристики, которые обеспечиваются применением полихроматора с лучшей дисперсией в классе компактных приборов (близкой к ДФС-51) и специально рассчитанной оптической схемы с компенсацией астигматизма и учитывающей применение ПЗС с плоским полем.

• Стабильность показаний при изменении внешней температуры.

• Высокая устойчивость работы при колебаниях напряжения в питающей сети благодаря встроенному корректору мощности.

• Хорошее аналитическое сопровождение и преемственность опыта, накопленного нашими специалистами в течение десятков лет, начиная со времени разработок приборов серии МФС и ДФС. Возможность выбора оптимальных линий сравнения на ПЗС-линейках.

• Наличие технических и программных средств, обеспечивающих оптимальное решение конкретных аналитических задач (256 режимов работы генератора, автоматический выбор лучших аналитических линий, межэлементная коррекция и многое другое, что делает прибор точным, удобным). Пользователям предоставляются как уже готовые методики анализа, так и возможность самостоятельной разработки новых методик.

Лампы с полым катодом для атомной абсорбции.

Атомно-абсорбционные спектрометры (ААС) – приборы, предназначенные для проведения количественного элементного анализа (до 70 элементов) по атомным спектрам поглощения, в первую очередь для определения содержания металлов в растворах их солей: в природных и сточных водах, в растворах-минерализаторах консистентных продуктов, технологических и прочих растворах.

Основные области применения атомно-абсорбционных спектрометров (ААС) – контроль объектов окружающей среды (воды, воздуха, почв), анализ пищевых продуктов и сырья для их изготовления, медицина, геология, металлургия, химическая промышленность, научные исследования.

Принцип действия атомно-абсорбционного спектрометра основан на измерении величины поглощения луча света, проходящего через атомный пар исследуемой пробы. Для превращения исследуемого вещества в атомный пар используется атомизатор. В качестве источника света используются различные узкополосные источники света. Для достижения наилучшего результата необходимо соблюдать правила, сформулированные Уолшем:

- длина волны, соответствующая максимальному поглощению атомных паров, должна быть равна длине волны максимальной интенсивности излучения источника;

- полуширина линии поглощения атомных паров должна быть по крайней мере в два раза больше полуширины линии испускания источника. После прохождения через атомные пары исследуемой пробы луч света поступает на монохроматор, а затем на приёмник, который и регистрирует интенсивность излучения.

### Литература

1. <http://www.gosnadzor-dv.ru/1321>
2. <http://www.nalkho.com/catalog/3/>
3. <http://kiev.prom.ua/p6414373-spektrometr-minilab.html>
4. [spectrolab.com.ua](http://spectrolab.com.ua)

УДК 621.31:64+697.27

## ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОКАМИНОВ

Букач А.Е

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Камины – это одно из первых изобретений человечества. Древние жители открыли огонь, но они мало преуспели в способности контролировать его пламя или температуру. Они не могли постигнуть, как поддерживать огонь в течение всей ночи или делать огонь чуть менее горячим или чуть более согревающим. Современные технологии позволяют добиться таких эффектов. Электрокамин – это электрический прибор, имитирующий тепловые и визуальные эффекты, создаваемые натуральным или газовым камином.

Свою историю электрокамины берут с 60–70 годов прошлого века, когда в Англии очень популярными стали электрические очаги. Объясняется это тем, что в Англии каждый второй житель имел камин на натуральном топливе, а изношенность дымоходов приобрела в те годы прошлого столетия катастрофические формы. Эксплуатировать камины без дорогостоящего ремонта дымоходов стало опасно. И решение проблемы было найдено. Люди стали вставлять в камины электрические топки, которые создавали иллюзию живого огня, избавляли хозяев от ненужной грязи и давали возможность при необходимости отапливать комнату, в которой находился такой камин. С этого времени электрокамины завоевали популярность во всём мире [1,2].

Попытки сделать удобный, но скучный электрический обогреватель более зрелищным, не только дающим тепло, но и напоминающим хоть чем-то настоящий очаг, делались давно. В самых ранних конструкциях эффекта пламени как такового вообще не было – был подсвечиваемый муляж тлеющих углей [3].

Позже подсветка стала динамичной – ленточки фольги или легкие металлические вертушки, приводимые в движение поднимающимся от ламп или обогревателя воздухом, отбрасывали колышущиеся тени и блики на муляж углей, придавая ему эффект мерцания. Первые модели мало чем напоминали сегодняшние электрокамины. Они состояли из металлической спирали, накрученной на основу из керамики. Нагревательный элемент раскалялся докрасна и не только обогревал, но и немного освещал помещение. Несмотря на наличие защитной решетки, конструкция была довольно огнеопасной. Любой горючий материал, попавший на спираль, мог загореться. Да и решетка сильно нагревалась, и случайное прикосновение к ней вызывало ожог.

Первым декоративным электрокамином с эффектом пламени можно назвать конструкцию, в которой подсвеченные лампой лоскутки ткани трепетали в потоке воздуха от электрического вентилятора. Настоящий огонь это мало напоминало, но сама идея симитировать не только тлеющие угли, но и языки пламени легла в основу всех современных электрических очагов, а «огонь» из трепещущих цветных лоскутков до сих пор применяется в театральных декорациях.

На рисунке 1 показана схема образования эффекта горения в каминах [4]. Ее назначение – светозвуковая имитация пламени костра или очага камина. Мерцающие вспышки гирлянд в сочетании с хаотическим потрескиванием создают иллюзию горения костра.

В основу работы положена широко распространенная схема включения гирлянды ламп последовательно со стартером от ламп дневного света. Как известно стартер состоит из корпуса, конденсатора и газонаполненной лампы с двумя термоконтактами. При подаче напряжения, равного напряжению возникновения электрического разряда в лампе, появляется разряд через промежуток между контактами лампы. Через стартер начинает протекать ток.



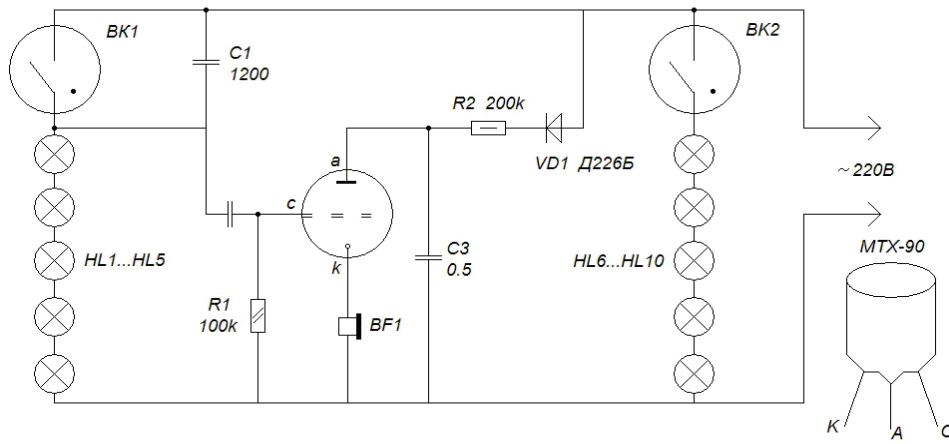


Рисунок 1 – Образование эффекта горения в каминах

Количество теплоты, выделяемое на пути протекания тока, зависит от сопротивления и времени действия тока. При разряде через газовый промежуток сопротивление будет большим, вследствие этого термо-контакты разогреваются и под действием температуры деформируются так, что касаются друг друга. Разряд прекращается, так как контакты замыкаются. Сопротивление замкнутых контактов мало и они остывают. Время нахождения контактов в замкнутом состоянии определяется временем их остывания. После остывания контакты размыкаются. Если снова подать напряжение, то процесс повторится. Так как период включения стартера носит случайный характер, то длительность и громкость щелчков в *BF1* также будут носить случайный характер. Чем чаще моргают лампы, тем чаще и тише будут потрескивания и наоборот, чем реже вспышки, тем громче будут щелчки.

Еще одна схема устройства, имитирующего горение и потрескивание дров в камине, изображена на рисунке 2 [5].

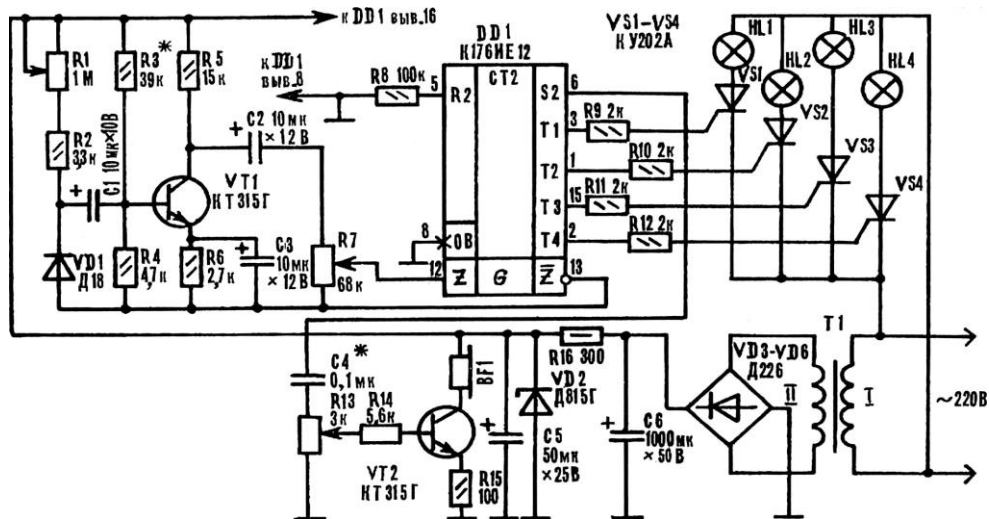


Рисунок 2 – Схема устройства, имитирующего горение и потрескивание дров в камине

Устройство состоит из генератора «белого шума», усилителя, делителя частоты, узла управления источниками света, имитатора “треска” дров и блока питания. Генератор «белого шума», собранный на транзисторе *VT1*, резисторах *R1–R6*, диоде *VD1*, конденсаторах *C1–C3*, вырабатывает сигнал, амплитуда и частота которого хаотически меняются. Этот сигнал поступает на регулятор уровня (переменный резистор *R7*) и далее на выводы 12 и 13 микросхемы *K176IE12*. Особенность применения данной ИМС состоит в том, что ее генераторная часть выполняет функции усилителя звуковой частоты. В микросхеме усиленный сигнал поступает на делитель частоты, который через каждые 256 импульсов поочередно переключает уровень логической 1 на выходах *T1–T4*. Положительные

импульсы напряжения с указанных выходов через резисторы  $R9-R12$  поступают в той же последовательности на управляющие электроды тринисторов  $VS1-VS4$ , открывают их, приводя к по очередному зажиганию ламп  $HL1-HL4$ , установленных в электрокаmine за декоративной панелью с изображением дров. С вывода в  $DD1$  сигнал поступает на имитатор треска дров, выполненный на транзисторе  $VT2$ , резисторах  $R13-R15$  и телефоне  $BF1$ .

Так как в качестве опорного для микросхемы выбран сигнал, амплитуда и частота которого изменяются по случайному закону, то и частота мерцания ламп и громкость потрескиваний тоже будут постоянно меняться, создавая эффект «горения дров» в камине.

Рассмотрим устройство современных электрокаминов.

Главными элементами электрокамина выступает портал или очаг и элемент, который имитирует огонь. Часть, которая обогревает, называется топкой или кассетой. Обогревательная часть может соединяться с очагом постоянно или быть съемной и работать самостоятельно.

В каминах со встроенным очагом используют специальную кассету, изготовленную именно под данную модель. Как правило, они компактны, их работу можно регулировать, нередко их снабжают пультом дистанционного управления. Часто такие каминны оснащают дополнительными элементами, такими как бар, подсветка, полочки и т.п.

Электрические каминны со сменным электрическим очагом выпускают нескольких типоразмеров. В этом случае можно отдельно подобрать очаг, и отдельно – портал, в который вставляют очаг.

Для того чтобы электрокамин мог функционировать, его достаточно подключить через электро-розетку с напряжением 220 В. А дальше эксплуатировать в двух режимах: в режиме обогрева – «и светит и греет» и в декоративном режиме – «светит, но не греет». Параметры как того, так и другого режима можно регулировать.

Желаемая температура обогрева регулируется при помощи термостата. Он сам поддерживает необходимый режим работы камина.

В декоративном режиме, когда энергия на нагрев не расходуется, мощность камина не превышает 100 Вт, то есть не больше обычной лампочки.

Как показала практика, обогрев нужен далеко не всегда, имитация пламени достигает такого совершенства, что многие предпочитают включать камин и в жаркое время года, когда обогрев совершенно не нужен. И в этом преимущество электрокамина перед обычным камином.

Чтобы тепло нагревало не электрокамин, а окружающий воздух, в камин встроены зеркальные отражатели, направляющие тепло от нагревательных элементов наружу, либо установлен тепловентилятор, прогоняющий воздух через нагреватели. Тепловой поток направляется на пол впереди камина, а затем поднимается вверх. Умная электроника, которой оснащены современные электрокаминны, позволяет плавно менять степень обогрева, от максимальной до полного отключения, причем, дистанционно. Это намного удобнее, чем регулировать режим работы настоящего камина при помощи кочерги и заслонки!

В некоторых наиболее совершенных моделях можно дистанционно настраивать не только степень обогрева, но и вид пламени: его можно заставить «пылать», «вспыхивать», «тлеть», «трепетать», и все это поочередно. Электрический камин горит ярко, как и обычный дровяной камин, весьма прост в обслуживании и он пожароустойчив.

Электрокамин по своему желанию может перенести в другое помещение, такого невозможно сделать с традиционным камином, также электрический камин способен сразу загораться или тухнуть и т.д. [6].

Электрокамин работает по принципу тепловентилятора. Тепло ощущается спустя считанные минуты работы камина. Тепло красиво дополняется специальным подвижным изображением имитирующий процесс горения огня.

Движение огня очень реалистично, в новейших моделях, имитацию порой сложно отличить от настоящего пламени. Нагретый воздушный поток равномерно распределяет тепло, при этом избегая поднятия пыли.

Основные технические возможности электрокаминов:

- обладают эффектом пламени, который имитирует настоящий огонь;
- можно использовать только для декорирования интерьера, когда за окном тепло, или объединить с функцией обогрева;
- площадь, которую могут обогревать электрические топки, составляет до 30 м<sup>2</sup>;
- встроенный термостат может поддерживать заданную температуру, и при этом не потребуются дополнительных затрат энергии;
- обогревательная мощность электрокамина составляет до 2 кВт;
- в качестве управления электрокамином для некоторых моделей дополнительно идет пульт дистанционного управления;
- не требуется устройство дымохода.

Электрокамины, в отличие от каминов дровяных, являются устройствами абсолютно неприхотливыми. Их можно устанавливать практически в любом помещении, за исключением, пожалуй, лишь ванных комнат, бассейнов и т.п. мест с повышенной влажностью [7]. Другим немаловажным достоинством электрокаминов является простота их эксплуатации. Камин не требует регулярной чистки; кроме того, разумеется, отпадает необходимость растапливать камин и устраивать в квартире склад топлива для него. К недостаткам же электрокаминов относится, пожалуй, лишь особенности дизайна используемых в них декоративных элементов, изображающих пламя или угли. Огонь электрокамина, не всегда выглядит реалистично [8].

Электрокамины бывают различных типов:

- Механизированные камины. Большинство моделей электрических каминов основано на электромеханическом принципе достижения эффекта огня. Изменение света от светодиодов или ламп достигается за счет вращения электродвигателем фигурной маски либо отражения от частиц пленки из металла, закрепленной на вращающемся барабане. Проекция теней и бликов на экран или муляж дров и позволяет создать живой образ горящего пламени. К существенным недостаткам электромеханических моделей каминов относится постоянный шум от двигающихся деталей. Особенно это характерно для недорогих конструкций, в которых отсутствует низкое качество изготовления.

- Паровые электрокамины 3D. Не так давно появились электрокамины, в основу которых лег принципиально новый способ достижения эффекта пламени — так называемые камины с паром. Выпускаемый ультразвуковым парогенератором, холодный пар с подсветкой от цветных галогенных ламп или светодиодов создает удивительно достоверный эффект огня и дыма, при этом еще и достигая иллюзии объемности. Недостатком этих электрических очагов можно назвать потребность в систематической дозакровке воды и чистке солевых отложений, частота которых зависит от качества вливаемой воды. Однако полная иллюзия настоящего пламени компенсирует такие хлопоты по уходу.

- Электрокамины со встраиваемой техникой. Уровень развития в области цифровых и LCD технологий достиг такого уровня, что стало возможным встраивать жидкокристаллический экран в электрокамин, который будет воспроизводить видеозапись настоящего пламени.

- Электрокамины Opti-V с эффектом 5D. Прием, получивший название «призрак Пеппера», давно применяется иллюзионистами и театральными режиссерами. Его суть в расположенных под определенными углами зеркальных стеклах. Современные технологии позволили использовать эти масштабные театральные приемы в компактных конструкциях, ставших основой новой серии электрокаминов Opti-V (Opti-Virtual). В них виртуальное изображение огня с летящими искрами пространственно совмещается с макетами горящих поленьев, создавая эффект объема и реалистичности пламени.

Выделяют следующие виды электрических каминов [9]:

- открытый и закрытый;
- сферический, параболический, в виде цилиндра, в форме капли;
- камины, которые можно установить на пол, прикрепить на стену и универсальный.

Электрокамины, как и их классические собратья, приносят в дома тепло и уют. Если установка дровяного камина невозможно или его техническое обслуживание слишком дорого, то электрокамин станет для вас идеальной альтернативой.

Естественно, искусственный огонь никогда не сравнится с настоящим, он не потрескивает поленьями, не источает приятный аромат, однако у него есть массу преимуществ. Не надо проводить дымоход, ломать голову, где хранить уголь и дрова, а в случае ремонта вам стоит только переместить камин и подсоединить его к другой розетке.

Для тех, кто все же мечтает о классическом камине, а установка его затруднительна, то можно соорудить обычный кирпичный камин, а в качестве топки поставить электрический камин.

#### Литература

1. <http://rahada.ru/page/istoriya-elektrokamina.html>
2. <http://www.remstroyinform.ru/elektrokamin-v-dome-istoriya-i-sovremennost>
3. [http://ydes.spb.ru/articles/kak\\_sozdaetsya\\_ehffekt\\_plameni\\_v\\_ehlektrokaminakh/](http://ydes.spb.ru/articles/kak_sozdaetsya_ehffekt_plameni_v_ehlektrokaminakh/)
4. [http://www.shemki.ru/readarticle.php?article\\_id=775](http://www.shemki.ru/readarticle.php?article_id=775)
5. <http://uchifiziku.ru/2011/07/15/kak-u-kamina>

УДК 681.58.681.32

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗ 12 В 220 ВОЛЬТ**

Азохов Д.Л., Дыдик П.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Устройство, описанное ниже, преобразует постоянное автомобильное напряжение 12 В в переменное 220 В, с частотой 50 Гц. Выходная мощность около 30 Вт. Под нагрузкой потребляет ток около 2,5 А.

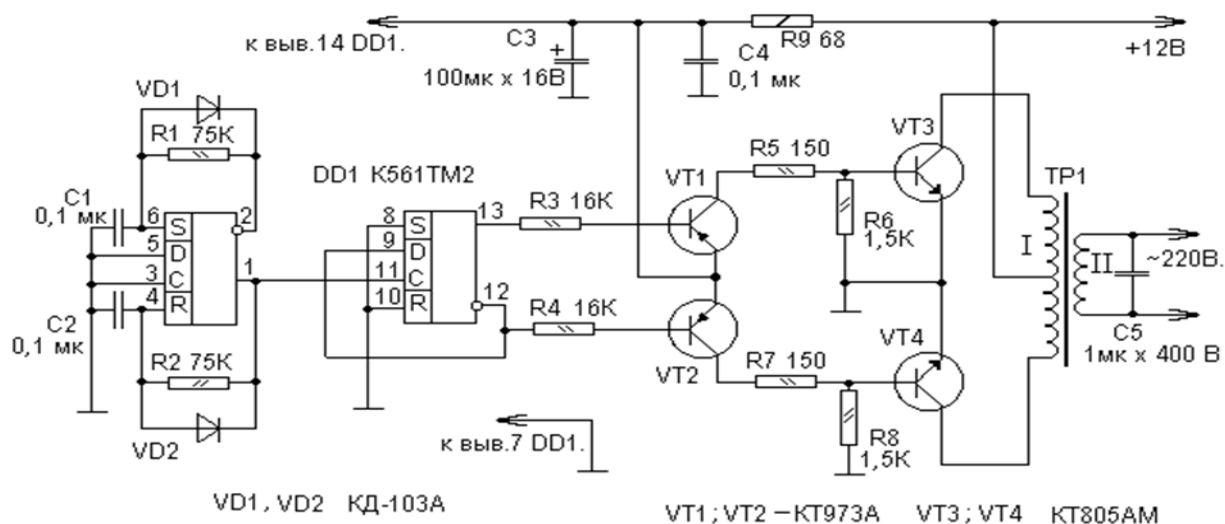


Рисунок 1 – Схема преобразователя напряжения из 12 в 220 вольт

Преобразователь содержит задающий генератор на частоту 100 Гц на триггере *DD1.1*, делитель частоты на 2 на триггере *DD1.2*, предварительный усилитель на транзисторах *VT1*, *VT2* и усилитель мощности на транзисторах *VT3*, *VT4*, нагруженный трансформатором *TP1*. Задающий генератор обладает высокой стабильностью частоты (не хуже 5% при изменении питающего напряжения от 6 до 15 В). Делитель частоты одновременно играет роль симметрирующей ступени, позволяя улучшить форму выходного напряжения преобразователя. Вторичная обмотка трансформатора *T1* с конденсатором *C5* и нагрузкой образуют колебательный контур с резонансной частотой около 50 Гц. Микросхему *K561TM2* можно заменить на *K564TM2*. Вместо транзисторов *КТ973Б* можно использовать составной эмиттерный повторитель на транзисторах серий *КТ361* и *КТ502*. Конденсаторы *C1* и *C2* – *К73-17*, *C3* – *КМ5*, *C4* – *К50-6*, *C5* – МБГО на напряжение не ниже 400В. Транзисторы *VT3*, *VT4* следует разместить на теплоотводах с полезной площадью около 8 см<sup>2</sup> каждый; при использовании металлических транзисторов радиатор не обязателен. Трансформатор *T1* можно перемотать из любого сетевого трансформатора мощностью 30..50 Вт. Все вторичные обмотки удаляют (сетевая будет служить обмоткой II), а вместо них наматывают проводом ПЭЛ или ПЭВ-21, 28 две полуобмотки, каждая с числом витков, соответствующим коэффициенту трансформации около 20 по отношению с оставленной обмоткой на 220 В. Собранный из исправных деталей преобразователь не требует наладивания, за исключением подбора конденсатора из условия получения максимального выходного напряжения при подключенной нагрузке.

Для получения «синусоиды» на выходе преобразователя обычно используют широтно-импульсную модуляцию, изображенную на рисунке 3. Но можно получить

«синусоиду» на выходе преобразователя напряжения без использования микропроцессора и программатора, т.е. наиболее простым аппаратным способом. Широтно-импульсный модулятор построен на микросхеме *DD3*, содержащей два инвертора на полевых (р-канальных и n-канальных) транзисторах. Западный аналог этой микросхемы *CD4007*. Выходное сопротивление транзисторов этой ИМС почти линейно зависит от входного напряжения. Широтно-импульсная модуляция реализуется изменением скважности импульсов генератора в соответствии с входным напряжением, поступающим с интегрирующей цепочки *R5, C3, R6, C2*. Само изменение частоты колебаний минимально зависит от скважности, так как выходное сопротивление одного транзистора возрастает, а другого всегда уменьшается при любой величине управляющего напряжения. Таким образом, среднее за период значение шунтирующего резистор *R8* сопротивления остается постоянным. Частота колебаний генератора соответствует 2 кГц.

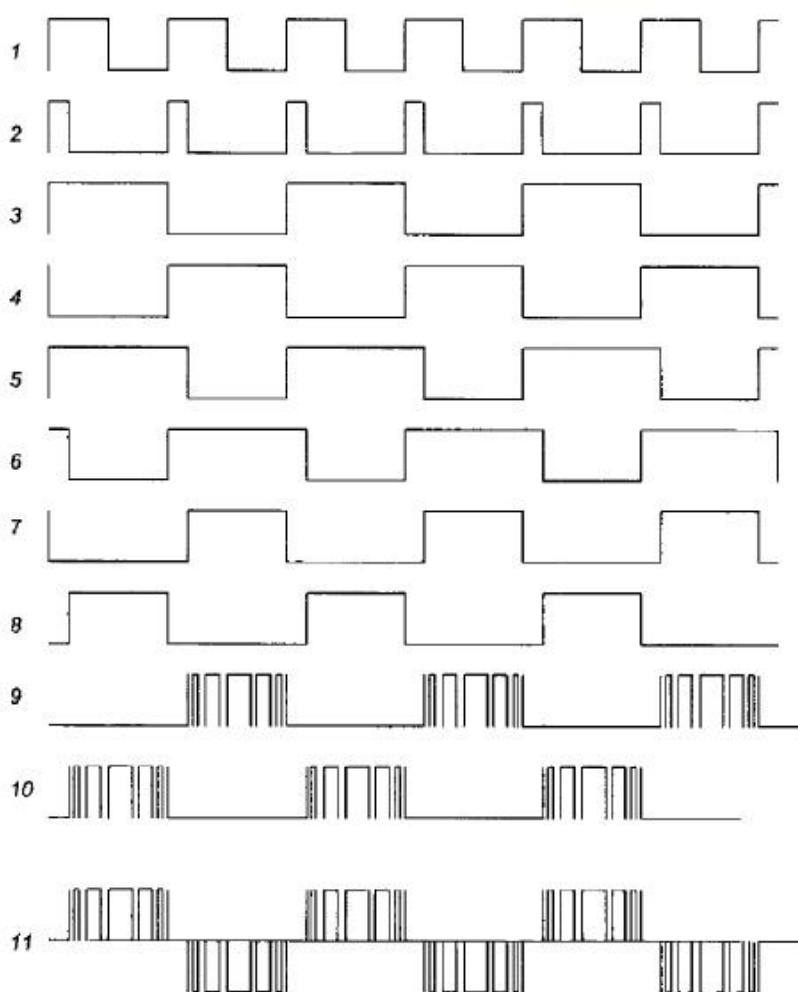


Рисунок 3 - Диаграммы сигналов в определенных точках преобразователя

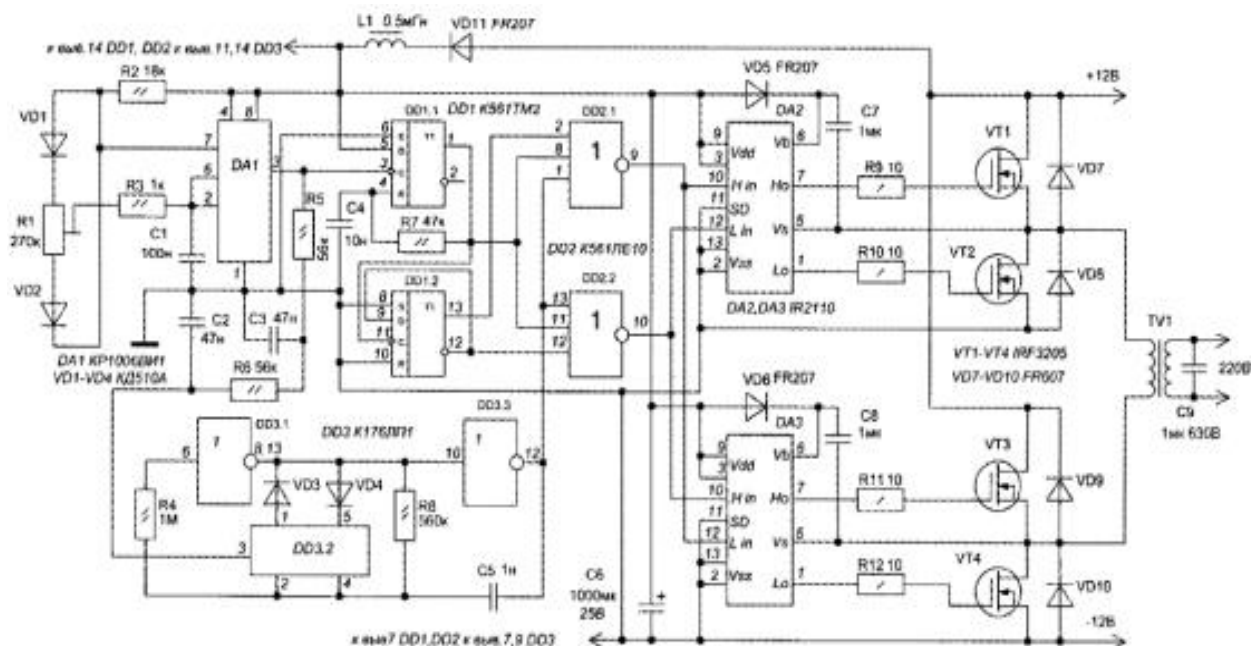


Рисунок 4 – Схема преобразователя напряжения с синусоидальным выходом

#### Достоинства:

- возможность достичь высокого коэффициента стабилизации;
- высокий КПД;
- большой диапазон входных напряжений, нередко с более чем двукратным перекрытием: типичные значения без переключения и без значительного ухудшения КПД для распространённых схем составляют 18...75 В пост. напряжения или 90...260 В переменного напряжения;
- нечувствительность к частоте входного напряжения переменного тока, влияющей только на работу входного выпрямителя и фильтра;
- нечувствительность к качеству электропитания (к примеру, наличию гармонических составляющих переменного тока);
- лёгкость в дистанционном управлении и отключении;
- малые габариты и масса;
- меньшая стоимость.

#### Литература

1. <http://radio-stv.ru/radiolyubitelskie-shemyi/preobrazovateli-napryazheniya/preobrazovatel-napryazheniya-dc-ac>
2. <http://www.joyta.ru/4234-avtomobilnyj-preobrazovatel-napryazheniya-12-220-volt/>
3. <http://cxem.net/pitanie/5-235.php> <http://radiostroi.ru/index.php/dliaavfto/193----12-220.html>

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Н.С. Сомов, О.Е. Сычѳв.

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.И. Можар

Рост мирового энергопотребления и неизбежное сокращение природных запасов углеводородного топлива существенно подняли интерес к использованию возобновляемых источников энергии. Выработка электроэнергии на базе возобновляемых источников является значимой составной частью мирового энергопроизводства.

Запасы ветровой энергии, по сути дела, безграничны. Эта энергия возобновляема, и в отличие от тепловых станций ветроэнергетика не использует богатства недр, а ведь добыча угля, нефти, газа связана с огромными затратами труда. К тому же тепловые станции загрязняют окружающую среду, а плотины ГЭС создают на реках искусственные моря, нарушая природное равновесие.

Все ветроэлектростанции работают по одному принципу: преобразуют линейную скорость ветра в угловую скорость вращения оси ветрогенератора. Генератор ветроэлектростанции преобразует вращательное движение в электроэнергию.

Для промышленной ветроэлектростанции все аналогично, только присутствуют системы слежения за направлением и скоростью ветра, которая направляет лопасти в сторону ветра и прекращает их работу в случае превышения допустимых скоростей, системы слежения за состоянием ветрогенератора и системы защиты от молний.

Направленный поток воздуха вращает лопасти ротора. Эффективность ветроэлектростанций все время увеличивается с появлением новых материалов и систем трёхмерного проектирования. Затем ротор передает вращение на генератор, который подает выработанное электричество через контроллер на аккумуляторы. Ветроэнергетическая установка на выходе электронного регулятора имеет 24, 48 или 96 вольт постоянного тока. Такое напряжение можно использовать для обогрева зданий, питания водных насосов, освещения и т.д.

Тем не менее, в основном ВЭУ используется обычными потребителями, пользующимися напряжением 220 вольт переменного тока с частотой 50 Гц. Для этого к выходу электронного регулятора необходимо подключить соответствующее устройство преобразования - инвертор. Инвертор преобразует электричество в переменный, который потребляет большинство электроприборов. Простота метода и его экологичность позволяет делать ветроэлектростанции все более популярными.

ВЭУ может включать в себя следующие устройства:

**Мачта** – обычно, чем выше мачта, тем стабильнее и сильнее сила ветра. Отсюда следует – чем выше мачта, тем больше выработка генератора. Мачты бывают разных форм и высот.

**Контроллер** – управляет многими процессами ветроустановки, такими, как поворот лопастей, заряд аккумуляторов, защитные функции и др. Он преобразовывает переменный ток, который вырабатывается генератором в постоянный для заряда аккумуляторных батарей.

**Аккумуляторные батареи** – накапливают электроэнергию для использования в безветренные часы. Также они выравнивают и стабилизируют выходящее напряжение из генератора. Благодаря им вы получаете стабильное напряжение без перебоев даже при порывистом ветре. Питание вашего объекта идет от аккумуляторных батарей.

**Анемоскоп и датчик направления ветра** – отвечают за сбор данных о скорости и направлении ветра в установках средней и большой мощности.

**АВР** – автоматический переключатель источника питания. Производит автоматическое переключение между несколькими источниками электропитания за промежуток в 0,5 секунды при исчезновении основного источника. Позволяет объединить ветроустановку, общественную электросеть, дизель-генератор и другие источники питания в единую



автоматизированную систему. Внимание: АВР не позволяет работать сети одного объекта одновременно от двух разных источников питания!

**Инвертор** – преобразовывает ток из постоянного, который накапливается в аккумуляторных батареях, в переменный, который потребляет большинство электроприборов. Инверторы бывают четырёх типов:

Модифицированная синусоида – преобразовывает ток в переменный с напряжением 220В с модифицированной синусоидой (квадратная синусоида). Пригоден только для оборудования, которое не чувствительно к качеству напряжения: освещение, обогрев, заряд устройств и т.п.

Чистая синусоида - преобразовывает ток в переменный с напряжением 220В с чистой синусоидой. Пригоден для любого типа электроприборов: электродвигатели, медицинское оборудование и др.

Трёхфазный – преобразовывает ток в трёхфазный с напряжением 380В. Можно использовать для трёхфазного оборудования.

Сетевой – в отличие от предыдущих типов позволяет системе работать без аккумуляторных батарей, но его можно использовать только для вывода электроэнергии в общественную электросеть. Их стоимость, обычно, в несколько раз превышает стоимость несетевых инверторов. Иногда они стоят дороже, чем все остальные компоненты ветроустановки вместе взятые.

Возможно, в скором будущем мы сможем увидеть солнечные панели, ветровые установки и приливные станции и в Беларуси. Но для этого необходимо не только вести разработки в этой области, а в этом мы сильно отстали, но и воплощать их в «жизнь». Можно сказать, что в Беларуси имеются энергетические технологии, использующие основные возобновляемые источники энергии. Правда, уровень их развития совершенно не отвечает ни потребностям государства, ни реальным возможностям полноценного применения возобновляемых источников энергии.

#### Литература

1. <http://www.umnydom-nn.ru/?p=4176>
2. [http://ecost.lviv.ua/ru/pr\\_work.html](http://ecost.lviv.ua/ru/pr_work.html)
3. <http://www.windenergy.kz/rus/articles/1/page/1/6>

## СЕРВОДВИГАТЕЛИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Шиманюк Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Серводвигатель – это специальный электрический двигатель с отрицательной обратной связью, предназначенный для использования в станках с числовым программным управлением. Серводвигатели обладают высокими скоростными характеристиками, и точностью позиционирования.

### История развития серводвигателя

В основном в серво использовались 3 полюсные коллекторные двигатели в которых тяжелый ротор с обмотками вращается внутри магнитов.

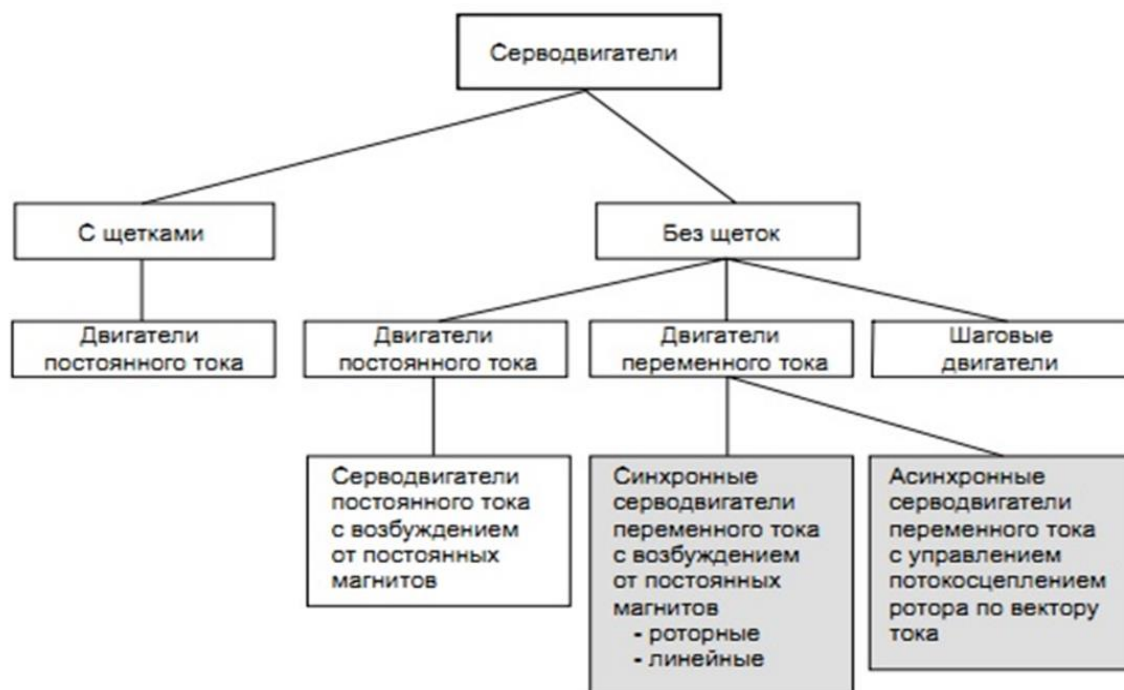
Первое усовершенствование, которое было применено — увеличение количества обмоток до 5. Таким образом, вырос вращающий момент и скорость разгона. Второе усовершенствование — это изменение конструкции мотора. Стальной сердечник с обмотками очень сложно раскрутить быстро. Поэтому конструкцию изменили — обмотки находятся снаружи магнитов, и исключено вращение стального сердечника. Таким образом, уменьшился вес двигателя, уменьшилось время разгона и возросла стоимость.

Ну и наконец, третий шаг — применение бес коллекторных двигателей. У бес коллекторных двигателей выше КПД, так как нет щёток, и трущихся частей. Они более эффективны, обеспечивают большую мощность, скорость, ускорение, вращающий момент.

Основными элементами конструкции серводвигателя являются:

- ротор;
- статор;
- элементы для подключения в виде штекерных разъемов или клеммой коробки;
- датчик обратной связи.

Серводвигатели можно разделить на следующие группы:



Серводвигатели обладают следующими характеристиками:

- высокая динамика,
- высокая точность позиционирования,
- высокая перегрузочная способность в широком диапазоне частоты вращения.

Кроме того, серводвигатели имеют следующие особенности:

- высокая точность поддержания заданной частоты вращения;
- широкий диапазон регулирования частоты вращения;
- малое время разгона;
- малое время регулирования вращающего момента;
- большой пусковой момент;
- малый момент инерции;
- малая масса;
- компактная конструкция.

Так как датчик обычно контролирует приводимый элемент, электрический сервопривод имеет следующие **преимущества перед шаговым двигателем**:

не предъявляет особых требований к электродвигателю и редуктору — они могут быть практически любого нужного типа и мощности (а шаговые двигатели, как правило, маломощны и тихоходны);

гарантирует максимальную точность, автоматически компенсируя:

механические (люфты в приводе) или электронные сбои привода;

постепенный износ привода, шаговому же двигателю для этого требуется периодическая юстировка;

тепловое расширение привода (при работе или сезонное), это было одной из причин перехода на сервопривод для позиционирования головок в жестких дисках;

обеспечивая немедленное выявление отказа (выхода из строя) привода (по механической части или электронике);

большая возможная скорость перемещения элемента (у шагового двигателя наименьшая максимальная скорость по сравнению с другими типами электродвигателей);

затраты энергии пропорциональны сопротивлению элемента (на шаговый двигатель постоянно подаётся номинальное напряжение с запасом по возможной перегрузке);

#### **Недостатки в сравнении с шаговым двигателем**

необходимость в дополнительном элементе – датчике;

сложнее блок управления и логика его работы (требуется обработка результатов датчика и выбор управляющего воздействия, а в основе контроллера шагового двигателя — просто счётчик);

проблема фиксации: обычно решается постоянным притормаживаем перемещаемого элемента либо вала электродвигателя (что ведёт к потерям энергии) либо применение червячных/винтовых передач (усложнение конструкции) (в шаговом двигателе каждый шаг фиксируется самим двигателем).

сервоприводы, как правило, дороже шаговых.

Сервопривод, однако, возможно использовать и на базе шагового двигателя или в дополнение к нему до некоторой степени совместив их достоинства и устранив конкуренцию между ними (сервопривод осуществляет грубое позиционирование в зону действия соответствующей параметрической системы шагового двигателя, а последняя осуществляет окончательное позиционирование при относительно большом моменте и фиксации положения).

Серводвигатели широко применяются в промышленности, например, в металлургии, в станках с ЧПУ, пресса-штамповочном оборудовании, автомобильной промышленности, тяговом подвижном составе железных дорог.

#### **Литература**

1. Гусев Н.В., Букреев В.Г. «Системы цифрового управления многокоординатными следящими системами». Издательство Томского политехнического университета, 2007
2. «Sew Eurodrive. Сервоприводы. Основы, характеристики, проектирование». Серия "Практика приводной техники". ЗАО СЕВ-ЕВРОДРАЙФ, СПб. Том 7,01.2000. – 73 с.

## ПЛЕНОЧНАЯ МИКРОСХЕМА

Гребень В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Пленочная микросхема – микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены только в виде пленок проводящих и диэлектрических материалов. Вариантами пленочных микросхем являются тонкопленочные и толстопленочные микросхемы.

Пленочные микросхемы представляют собой законченные электронные схемы, состоящие из пленочных деталей, наносимых на одну общую для всей схемы изоляционную подложку. Разработаны след, разновидности топких пленок: изолирующие, проводящие, сверхпроводящие, магнитные и полупроводниковые.

Пленочная микросхема представляет собой подложку, которую изготавливают из сапфира, керамики и прочего, всегда обладают прямоугольной конфигурацией и толщиной порядка от 0,2 мм до 1 мм., на которую нанесены активные элементы. Активными элементами микросхем являются различные полупроводниковые элементы – от кремневых плат до герметизированных приборов. Активные элементы (диоды, транзисторы) не делаются пленочными, так как не удалось добиться их хорошего качества. Эти элементы подсоединяются к пассивной части схемы путем пайки или сварки. Подложки не должны вступать в химические реакции с материалами пленок, обязаны обладать низкой степенью шероховатости поверхности, должны обладать высоким электрическим сопротивлением. Комплекс работ, связанных с определением оптимальных геометрических размеров пленочных элементов микросхемы, их формы, методов соединения, а также последовательности нанесения слоев пленки на подложку, называется топологией. В зависимости от топологии для изготовления микросхемы используются различного рода трафареты, выполняемые с помощью фотолитографии или электроискровым методом из медной фольги, никеля, стали и других материалов толщиной 0,07...0,15 мм. Трафареты накладывают на подложку, закрывая ту ее часть, которая не предназначена для напыления. Наиболее сложным процессом при нанесении пленочных элементов является совмещение трафаретов, так как для изготовления отдельных микросхем иногда требуется наложение до 15 трафаретов. Принято различать тонкопленочные микросхемы, у которых толщина пленок не более 2 мкм, и толстопленочные микросхемы, у которых толщина пленок значительно больше.

Разница между этими микросхемами заключается не столько в толщине пленок, сколько в различной технологии их нанесения. Подложки представляют собой диэлектрические пластинки толщиной 0,5 — 1,0 мм. Тщательно отшлифованные и отполированные. Толстые пленки наносят на подложку методом шелкографии, вжигания и электрохимического осаждения. Достоинством толстопленочных микросхем является возможность применения для их изготовления простейшей технологии без использования дорогостоящего оборудования.

Тонкие пленки в отличие от толстых позволяют создавать прецизионные пассивные элементы с параметрами более широкого диапазона, однако их производство требует больших затрат на специальное вакуумное оборудование. Нанесение тонких пленок осуществляется путем термического испарения в вакууме, распыления бомбардировкой ионами и химического осаждения. В зависимости от выполняемых функций различают: пленочные резисторы, пленочные конденсаторы, пленочные катушки. Пленочные резисторы. Пленочные резисторы, изготавливают из никеля, керметы, тантала, хрома и т.д. со связующим веществом, имеют прямоугольную конфигурацию. С целью повышения сопротивления резистора его выполняют в виде соединённых друг с другом многочисленных элементарных одинаковых участков Г-образной или П-образной конфигурации, которые повторяют до тех пор, пока не будет получено необходимое сопротивление. Если

сопротивление резистора не должно быть очень большим, то пленка делается из сплава высокого сопротивления, например из нихрома. А для резисторов высокого сопротивления применяется смесь металла с керамикой. На концах резистивной пленки делаются выводы в виде металлических пленок, которые вместе с тем являются линиями, соединяющими резистор с другими элементами. Сопротивление пленочного резистора зависит от толщины и ширины пленки, ее длины и материала. Для увеличения сопротивления делают пленочные резисторы зигзагообразной формы. Удельное сопротивление пленочных резисторов выражают в особых единицах – Ом на квадрат, так как сопротивление данной пленки в форме квадрата не зависит от размеров этого квадрата.

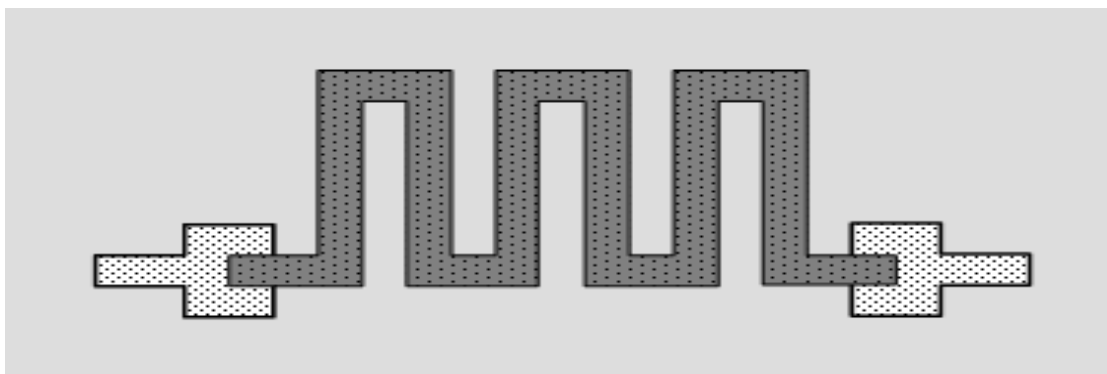


Рисунок. 1 Пленочный резистор

#### Пленочные конденсаторы

Пленочные конденсаторы чаще всего делаются только с двумя обкладками. Одна из них наносится на подложку и продолжается в виде соединительной линии, затем на нее наносится диэлектрическая пленка, а сверху располагается вторая обкладка, также переходящая в соединительную линию. В зависимости от толщины диэлектрика конденсаторы бывают тонко- и толстопленочными. Диэлектриком обычно служат оксиды кремния, алюминия или титана. Удельная емкость может быть от десятков до тысяч пикофард на квадратный миллиметр, и соответственно этому при площади конденсатора в  $25 \text{ мм}^2$  достигаются номинальные емкости от сотен до десятков тысяч пикофард. Точность изготовления  $\pm 15 \%$ .

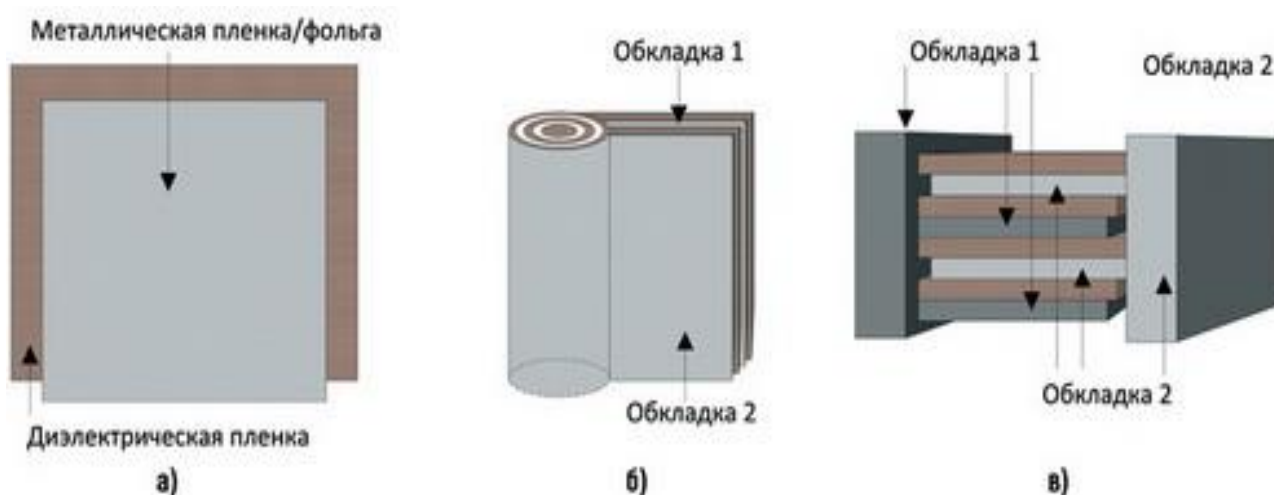


Рисунок 2 Пленочные конденсаторы

Области применения пленочных конденсаторов

Область	Пример	Особые требования	Тип конденсатора
Дозиметрические цепи (медицина, измерительная техника)	Устройства выборки-хранения	Низкий уровень абсорбции, малый саморазряд	Полипропиленовый, полистирольный
	Измерительные схемы датчиков с высоким импедансом	Низкие токи утечки, большое сопротивление изоляции, малый саморазряд	Полипропиленовый, полистирольный
	Времязадающие цепи интеграторов, преобразователей напряжения-частоты, цепи подстройки частоты и др.	Низкий уровень абсорбции, малый саморазряд	Полипропиленовый, полистирольный
Низковольтные цепи (медицина, транспорт, промышленность)	Помехоподавляющие фильтры	Низкая индуктивность, малое значение $tgd$	Полипропиленовый, полистирольный, полиэтилентерефталатный
Высоковольтные цепи (промышленность, транспорт)	Высоковольтные фильтры	Большой ток разряда, низкий уровень абсорбции, малое значение $tgd$ , надежность	Полипропиленовый, полиэтилентерефталатный
Высокочастотные цепи (телекоммуникация, промышленность)	Усилители высокочастотных сигналов, высококачественные активные фильтры	Низкая индуктивность, низкий уровень абсорбции, малое значение $tgd$	Полипропиленовый, полистирольный

### Пленочные катушки

Пленочные катушки делаются в виде плоских спиралей, чаще всего прямоугольной формы. Ширина проводящих полосок и просветов между ними обычно составляет несколько десятков микрометров. Тогда получается удельная индуктивность  $10 — 20$  мГн/мм<sup>2</sup>. На площади  $25$  мм<sup>2</sup> можно получить индуктивность до  $0,5$  мкГн. Обычно такие катушки делаются с индуктивностью не более нескольких микрогенри. Увеличить индуктивность можно нанесением на катушку ферро магнитной пленки, которая выполняет роль сердечника. Некоторые трудности возникают при устройстве вывода от внутреннего конца пленочной катушки. Приходится для этого наносить на соответствующее место катушки диэлектрическую пленку, а затем поверх этой пленки наносить металлическую пленку. Пленочные элементы имеют ряд преимуществ по сравнению с навесными объемными микроэлементами. Так, например, резисторы обладают малым уровнем шумов, большим удельным сопротивлением, конденсаторы — повышенной стабильностью, хорошим температурным коэффициентом. Метод напыления тонких пленок позволяет создавать не только функциональные микросхемы, но и полосковые СВЧ-элементы,

электронно-управляемые переключатели мощности и различного рода ЛС-цепи с распределенными параметрами

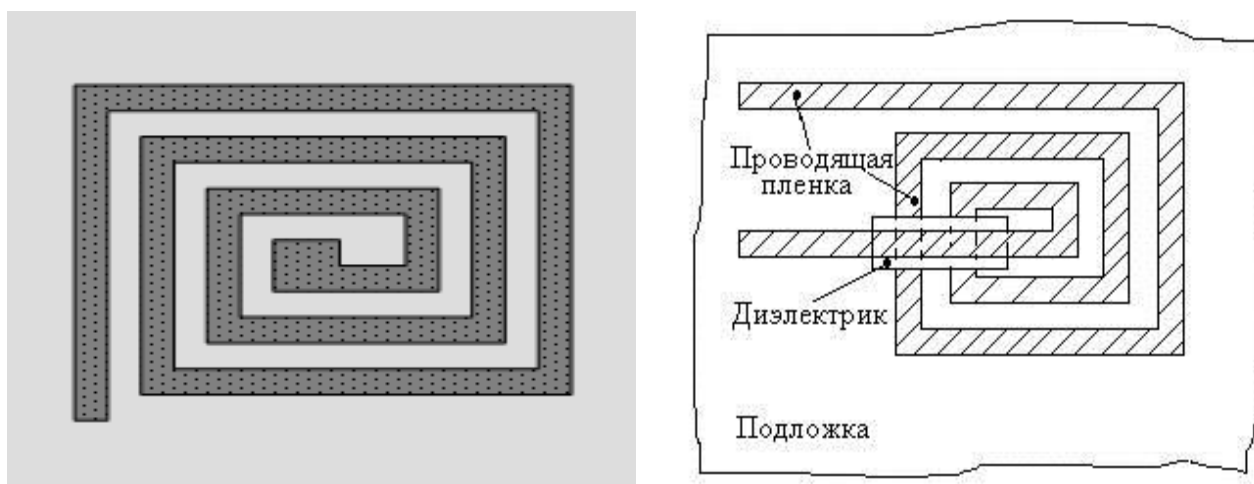


Рисунок 3 Пленочные катушки

Главные достоинства пленочных микросхем – малые размеры и масса, малая потребляемая мощность, высокая надежность за счет уменьшения числа паяных соединений, высокое быстродействие, так как при очень коротких соединительных линиях между элементами время пробега сигналов по этим линиям уменьшается, относительно низкая стоимость.

Наряду с большими достоинствами ИС имеют и некоторые недостатки. Прежде всего они являются маломощными. Устройства повышенной мощности на ИС сделать пока весьма трудно. Трудности возникают также при создании больших емкостей и индуктивностей. Соединения между микросхемами делаются по старым принципам, занимают значительный объем и снижают надежность.

#### Литература

1. [http://moskatov.narod.ru/Books/The\\_electronic\\_technics/Introduction\\_in\\_microelectronics.html](http://moskatov.narod.ru/Books/The_electronic_technics/Introduction_in_microelectronics.html)
2. <http://www.ngpedia.ru/id156588p1.html>
3. <http://studopedia.org/1-91591.html>
4. <http://elektronik.by/?p=929>

# СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

## ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### **НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КОНКУРЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКО КОНКУРЕНТНЫХ РЫНКОВ**

БЕСМАН Т.А.

Научный руководитель – старший преподаватель САМОСЮК Н.А.

### **ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЭС**

БОРОЗНА А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент НАГОРНОВ В.Н.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ**

Винникова А.И., Лихачевская А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор БОКУН И.А.

### **ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Гришкевич Ю.В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент НАГОРНОВ В.Н.

### **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ КОТЕЛЬНЫХ В МИНИ-ГЭЦ ПУТЕМ НАДСТРОЙКИ ПАРОВО-ВИНТОВЫХ АГРЕГАТОВ (ПВМ)**

Гуско А.В., Рыбалтовская Е.Ю.

Научный руководитель – к.э.н., доцент НАГОРНОВ В.Н.

### **ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ**

Гуско А.В., Якимиди Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель САМОСЮК Н.А.

### **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ МЕСТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

Данильчук В.В., Пусь А.В., Ержан Р.

Научный руководитель – д.т.н., профессор БОКУН И.А.

### **АГРОТУРИЗМ 2015: ПАРТНЁРСТВО И ИННОВАЦИИ**

Девялтовская Л.А.

Научный руководитель – старший преподаватель КРАВЧУК Е.А.

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА**

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель САМОСЮК Н.А.

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ**

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель ЛАПЧЕНКО Д.А.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРОДОВ**

Елисеева А.И., Сквородцева Я.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА В РАМКАХ ЕАЭС**

Ержан Р.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.



**БЕЛОРУССКИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ. РЕАЛИИ РАЗВИТИЯ ДАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ В БЕЛАРУСИ**

Кудравец Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Левковская В.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОФФШОРНЫХ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Левковская В.А., Олешко И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В БЕЛАРУСИ**

Мачульская В.Д., Захарова К.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЯХ**

Мирголовская А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Мирголовская А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ДЛЯ МИНИ-ТЭЦ**

Олешко И.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

**ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИКИ АЭС**

Пархомчик Е.М.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

**ЛАЗЕРНО-ЛЮМИНОФОРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Пичуев А.Д., Старовойтов Ю.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

**ТУРБОДЕТАНДЕР И ЕГО ПРИНЦИП РАБОТЫ**

Пичуев А.Д., Старовойтов Ю.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ПОВЫШЕНИЕ АНОНИМНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИКИ**

Роскач А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

**ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ МУСОРА**

Соловей Е.В., Погоржельская И.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Толкачева В.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Хомич А.А., Гончарова М.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ**

Хомич А.А., Гончарова М.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМНОГО РАСХОДОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

ЦУКРОВА М.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САМОСЮК Н.А.

**ПРИМЕНЕНИЕ РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

ЧИГАК С.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ МАНЦЕРОВА Т.Ф.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В ЖИЛОМ ДОМЕ**

ЧИЖ Е.П.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САМОСЮК Н.А.

**ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ**

ШКЛЯРИК Ф.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САМОСЮК Н.А.

**РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

ШМАКОВА А.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САМОСЮК Н.А.

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭС**

ШУМСКИЙ А.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ МАНЦЕРОВА Т.Ф.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

ЯЛТУХОВСКАЯ В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САМОСЮК Н.А.

УДК 339.13

## НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КОНКУРЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКО КОНКУРЕНТНЫХ РЫНКОВ

Бесман Т.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосяк Н.А.

Конкуренция способствует развитию экономической системы. Она заставляет снижать затраты производства путем экономии ресурсов, роста производительности труда, улучшения трудовой дисциплины. Улучшается качество продукции, выравниваются цены. Несмотря на вышеперечисленные положительные эффекты, конкурентная среда оказывает не только позитивное, но и негативное влияние на рынок.

К негативным последствиям конкуренции можно отнести концентрацию производства, приводящую к монополиям. Конкуренция усиливает борьбу капиталов за уменьшение затрат на производстве. Это снижает платежеспособный спрос населения. Определенные сложности существуют с контролем мощных ТНК в совокупности с их колоссальными возможностями влияния на рынок.

Отдельное место среди негативных последствий конкуренции сегодня занимает активный рост мирового рекламного бюджета. Реклама помогает предприятию поддерживать свой имидж и повышать объемы реализации товаров. Однако, противоречия заложены в одном из ключевых экономических понятий – понятии ограниченности ресурсов. Многие компании вынуждены тратить значительное количество ресурсов на рекламное продвижение своих продуктов только для того, чтобы удержаться на рынке. Ситуация с затратами на рекламу на крупных рынках напоминает «перетягивание каната» – рекламные бюджеты компаний растут не для того, чтобы расширить существующий рынок, а для того, чтобы удержать текущие позиции компании на рынке.

Сложившаяся ситуация близка к одной из глобальных проблем человечества – гонке вооружений, что является бессмысленным противостоянием за обладание большей военной мощью.

Конкуренция является эффективным механизмом саморегулирования рынка. Однако, рост затрат на продвижение товара и рекламных бюджетов не всегда оправдан, так как значительная часть ограниченных ресурсов направлена только на компенсацию эффекта от рекламы конкурента, без повышения реальной ценности товаров для потребителей.

Сгладить эти негативные последствия можно за счет увеличения инвестиций в инновационное развитие и научно-техническую деятельность за счет снижения затрат на рекламу.

УДК 621.311

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЭС

Борозна А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Согласно национальной программы развития местных и возобновляемых источников на 2011 – 2015 гг. на территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок, где можно разместить ветроэнергетические установки (ВЭУ).

18 мая 2011 года в поселке Грабники Новогрудского района (Гродненская область) состоялась презентация самой большой до настоящего времени ветроэнергетической установки в Беларуси мощностью 1,5 МВт. Проект был реализован с участием китайской компании HEAG, которая поставляла оборудование для ВЭУ. Среднегодовая выработка электроэнергии установкой в Новогрудском районе составляет примерно 3,8 млн. кВт·ч, что соответствует экономии условного топлива около 1,1-1,25 тыс.т. Длина каждой из трех лопастей ветроколеса составляет около 40 м, высота мачты - примерно 90 м. Вес оборудования - около 200 т. Выработка энергии начинается при скорости ветра более 3 м/с. Суммарный объем электроэнергии в день более 20 мегаватт. По результатам обследования площадки в районе деревни Грабники в дальнейшем здесь возможно размещение ветропарка из семи-восьми ветроэнергетических установок. Суммарная ориентировочная среднегодовая выработка электроэнергии такого ветропарка составит около 25-30 млн. кВт·ч.

Объем топливно-энергетических ресурсов Беларуси, покрывает лишь 15% от её потребностей, остальные 85% импортируются - в основном из России. С учетом проведенных исследований Республика Беларусь обладает достаточным ветроэнергетическим потенциалом для экономически обоснованного внедрения ветроэнергетических установок и ветропарков.

### Литература

1. Д. де Рензо, В.В. Зубарев Ветроэнергетика. Москва. Энергоатомиздат, 1982.
2. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников РБ на 2011 – 2015 годы.

УДК 621.311

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ**

Винникова А.И., Лихачевская А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

Беларусь обладает значительным ветроэнергетическим потенциалом. Он оценивается в 1600 МВт. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, где можно устанавливать ветроэнергетические станции и даже создавать ветроэнергетические парки. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где фоновая скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок. Годовая выработка электроэнергии может достигать 6,5 млрд. кВт/ч. Сегодня частными инвесторами по всей Беларуси активно устанавливаются ветряки небольшой мощности. Большинство ВЭУ – агрегаты, бывшие в употреблении.

Развитию ветроэнергетики в Беларуси способствуют государственные программы и планы, направленные на стимулирование использования возобновляемых источников энергии. Наряду с этим существует необходимость привлечения внешних инвестиций, активизации поиска путей снижения стоимости ВЭУ. Предстоит подготовка квалифицированных кадров, расширение законодательной и нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы тарифно-налоговой политики, проектирования и эксплуатации ветроустановок и ветропарков, а также оценки воздействия ВЭУ на окружающую среду. Пока из-за инвестиционной непривлекательности Беларусь в отношении соседних стран занимает последнее место по общей мощности ВЭУ.

В настоящее время в энергетическом секторе стран мира можно прогнозировать дальнейшее интенсивное развитие возобновляемых источников энергии. При этом их доля в энергетическом балансе будет постепенно увеличиваться, снижая тем самым потребление углеводородного топлива.

УДК 338

## ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Гришкевич Ю.В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Каждый товар, какими бы отличными потребительскими свойствами он не обладал, имеет определённый период рыночной устойчивости, т.е. существует на рынке ограниченное время. Рано или поздно он вытесняется с рынка другим, более совершенным или более дешёвым товаром. Данный феномен и называют жизненным циклом товара. *Жизненный цикл товара (ЖЦТ)* - это время с момента первоначального появления товара на рынке до прекращения его реализации на рынке. Данная концепция описывает сбыт продукта, прибыль, потребителей, конкурентов и стратегию маркетинга с момента поступления товара на рынок до его снятия с рынка. Исследователями было обнаружено, что спрос на товар изменяется отнюдь не хаотично, но определённым образом, который графически может быть изображён кривой. Данная кривая получила название "кривой жизненного цикла товара". Понимание жизненного цикла продукции является важнейшим условием выработки успешной рыночной стратегии.

На протяжении последних 25 лет доля ядерной энергетики в мировом производстве электроэнергии оставалась стабильной на уровне 16-17%. Особенностью ядерной энергетики является необходимость нести затраты в течение очень длительного времени после вывода реактора из эксплуатации. Время, в течение которого необходимо содержать реактор и хранилища радиоактивных отходов, превышает максимальные сроки стратегического планирования корпораций и государств. Для поддержания на прежнем уровне себестоимости ядерной электроэнергии содержание все большего количества отработавших срок реакторов и радиоактивных отходов требует экспоненциального роста мощностей.

Исследуя график, на котором отображено число стран, эксплуатирующих или эксплуатировавших, АЭС можно сделать вывод, что ядерная энергетика сейчас находится на стадии насыщения или зрелости товара. Можно наблюдать тенденцию стабилизации положения ядерной энергетики на рынке, что видно исходя из конфигурации кривой цикла. Для того, чтобы сказать, насколько долго продлится этот этап, недостаточно имеющейся информации, однако, можно предположить, что со временем развития термоядерного синтеза и других инновационных технологий кривая жизненного цикла АЭС пойдет на спад.

УДК 621.182

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ КОТЕЛЬНЫХ В МИНИ-ТЭЦ ПУТЕМ НАДСТРОЙКИ ПАРОВО-ВИНТОВЫХ АГРЕГАТОВ (ПВМ)**

Гуско А.В., Рыбалтовская Е.Ю.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) – теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования. В настоящее время нашли широкое применение в зарубежной и отечественной теплоэнергетике следующие установки: противодавленческие паровые турбины, конденсационные паровые турбины с отбором пара, газотурбинные установки с водяной или паровой утилизацией тепловой энергии, газопоршневые, газодизельные и дизельные агрегаты с утилизацией тепловой энергии различных систем этих агрегатов. Основным предназначением мини-ТЭЦ является выработка электрической и тепловой энергии из различных видов топлива в непосредственной близости к потребителю.

Одним из актуальных направлений в современной энергетике является надстройка генерирующих мощностей на действующих производственных и отопительных котельных и их преобразование в мини-ТЭЦ, т.к. огромный потенциал для энергосбережения определяется большим количеством котлов стандартного типа, эксплуатирующихся на существующих котельных, часть энергетического потенциала которых не используется, а также в состав оборудования котельных входит большая масса вспомогательного оборудования, требующего питания электрической энергией: тягодутьевые и питающие устройства, оборудование водоподготовки, топливоподачи, контрольно-измерительные приборы и системы автоматизации. Очевидно, что для их надежного функционирования необходима бесперебойность снабжения котельной электрической энергией, что может быть обеспечено за счет дополнительной выработки энергии в режиме автономной работы. К тому же наличие резервного источника требуется по существующим строительным нормам и правилам, поскольку установка котлов производительностью более 10 Гкал/ч допускается только при условии, если котельная обеспечена двумя независимыми источниками питания электроэнергией. И самый дешевый, простой и экономичный способ – это установка в котельной паровой противодавленческой турбины с выработкой электроэнергии на тепловом потреблении без потерь в холодном источнике.

Требованиям к использованию при переводе действующих котельных на когенерацию удовлетворяет установка – паро-винтовой агрегат.

В котельной ПВМ (паро-винтовая машина) устанавливается в параллель редукционной установке. Свежий пар от котла (с давлением от 1,4 до 0,9 МПа) поступает в агрегат и, проходя по винтовому каналу между профилями винтов, расширяется с преобразованием тепловой энергии в механическую. Вращательный момент передается генератору (насосу, дымососу) через муфту на валу редуктора (число оборотов – 1500/3000 об/мин). Отработанный пар (с давлением от 0,45 до 0,15 МПа) подается в подогреватели потоков воды котельной.

Перевод котельной в режим мини-ТЭЦ путём установки ПВМ позволит обеспечить:

производство дешевой электрической энергии (когенерация) в производственно-отопительных котельных различных отраслей промышленности: лесной, целлюлозно-бумажной, текстильной, пищевой, строительной и др.;

утилизацию бесполезно теряемой энергии дросселируемого пара (функция энергосбережения);

отсутствие вредного воздействия на окружающую среду;

высокую эксплуатационную надёжность и безопасность;

возможность установки агрегата в существующем здании котельной без сооружения дополнительного помещения и массивного фундамента;  
реконструкцию котельных с переводом в режим мини-ТЭЦ за 1...1,5 года;  
расход топлива на выработку электроэнергии на уровне 165...185 г.у.т. на 1 кВт·ч;  
гибкость схем утилизации дросселируемого пара;  
резерв для пиковых нагрузок.

Преимущества внедрения предприятиями источников электроэнергии малой мощности (ИЭММ) заключаются также в том, что они не требуют крупных инвестиций и отличаются малым сроком строительства.



УДК 621.311.245

## ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ

Гуско А.В., Якимиди Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

В нашей стране звучат противоположные мнения по поводу развития ветроэнергетики. Несмотря на полярные взгляды, Беларусь обладает значительным ветроэнергетическим потенциалом. Он оценивается в 1600 МВт. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, где можно устанавливать ветроэнергетические станции и даже создавать ветроэнергетические парки. Годовая выработка электроэнергии может достигать 6,5 млрд. кВт·ч.

По ветропотенциалу Беларусь соответствует требованиям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники и приближается к уровню Польши и других стран Восточной Европы, где ветроэнергетика эффективно развивается уже много лет.

Выгоднее всего применять энергию ветра в зонах со среднегодовыми фоновыми скоростями ветра выше 5 м/с. Это возвышенные районы большей части севера и северо-запада Беларуси, центральная зона Минской области, включая прилегающие к ней районы запада, а также Витебская возвышенность. В ближайшие два года проекты по развитию ветроэнергетики будут выполнены в Новогрудском и Лиозненском районах, где планируется построить ветропарки мощностью 25 МВт и 60 МВт соответственно. Ожидается, что ветропарки появятся в Ошмянском, Сморгонском, Логойском районах.

Ведутся переговоры с немецкой фирмой «Энертраг» об установке ветротехники в Дзержинском районе. Первая очередь проекта предусматривает ввод в строй ветроустановок мощностью 10 МВт. В последствии планируется увеличить эту мощность до 150 МВт.

Ученые периодически оценивают перспективы развития в нашей стране ветроэнергетики. Так, совсем недавно Республиканский гидрометеоцентр совместно с Объединенным институтом энергетических и ядерных исследований «Сосны» Национальной академии наук и Международным государственным экологическим университетом им. А.Д. Сахарова приступил к выполнению нового проекта в этой сфере – составлению атласа ветров Беларуси.

До конца 2015 года должен быть подготовлен макет атласа ветров с конкретной информацией для наиболее перспективных районов и разработаны рекомендации по использованию их потенциала. Будет прописано, где и какие ветроустановки нужно ставить в первую очередь. При этом будут учитываться не только ветровые нагрузки, но и наличие инфраструктуры (электрических сетей и подстанций, потребителей энергии, подъездных путей и т.п.). Будут приняты во внимание и экологические аспекты (т.к. нельзя ставить ветроустановки на путях миграции птиц, вблизи населенных пунктов и т. д.).

Проблема в первую очередь в том, что ветроэнергетика требует больших инвестиций. Мировые производители выпускают преимущественно ветроустановки большой мощности, которая достигает от 1-2 до 6 МВт. Известно, что 1 такой МВт обходится примерно в 1 млн. евро. Найти такие инвестиции, а они окупаются в течение 6-10 лет, нелегко.

Для использования в Беларуси выпускают в основном два типа установок – редукторные и безредукторные. В последних ось ветроколеса напрямую соединена с ротором генератора. Именно они считаются сегодня наиболее эффективными. В них меньше механики, их надежность соответственно выше, однако и стоимость больше. Срок службы такой установки – 50-60 лет.

Пока в Беларуси только одна фирма производит ветроустановки. Мощность их невелика и качество значительно уступает зарубежным аналогам. В этой области изобретать что-то новое сложно. Оптимальный путь – адаптировать и эффективно использовать лучшие разработки применительно к нашей стране.

В 2014 году поступало много предложений о сотрудничестве от зарубежных компаний. Приезжали инвесторы из Турции, Бельгии, Швеции, Литвы. Однако кризис внес свои коррективы в их планы. Многие идеи так и не осуществились, до реальных соглашений дело дошло только с несколькими инвесторами. Инвесторам нужна законодательная поддержка со стороны белорусского правительства. Проект закона о возобновляемой энергетике, который находится сейчас в парламенте, должен решить этот вопрос и стать серьезным стимулом для привлечения инвестиций в ветроэнергетику Беларуси.

Беларусь испытывает дефицит кадров в области возобновляемой энергетики. На протяжении последних 20-30 лет не готовились специалисты в этой сфере. Недавно в БНТУ и БГТУ начали готовить специалистов по таким направлениям, как энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент.

Ученые и экологи уверены, что эта отрасль должна стать неотъемлемой частью отечественной энергетики: она поможет не только восполнить потребности нашей страны в энергии, но и получать ее без особого вреда для окружающей среды.

УДК 621

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ МЕСТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

Данильчук В.В., Пусь А.В., Ержан Р.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

К местным низкосортным топливам можно отнести бурые угли, сланцы, отходы растениеводства, лесозаготовок, деревообрабатывающей промышленности и др.

Существует социально-экономические условия, которые создают необходимость производства энергии из низкосортных местных твердых топлив, которые на половину обеспечат снижение себестоимости энергии. Затраты на создание новой технологии работающей на (НММТТ) окупаются за короткий срок, а проекты таких установок будут инвестиционно-привлекательными по сравнению с сегодняшними технологиями, использующими органические ископаемые топлива. Не смотря на разные виды этих топливных ресурсов и различающихся по элементному и вещественному составу, существуют общие технологии их обработки.

К приоритетным энергосберегающим мероприятиям в Республике Беларусь относится использование отходов растениеводства (соломы и др.) отходов лесозаготовок, деревообрабатывающей промышленности и др. За последние десятилетия технология и оборудование сжигания газификации твердых и низкосортных местных топлив достигли высокого уровня и продолжают совершенствоваться.

В процессе сжигания и газификации топлива в пульсирующем слое лежит общий физико-химический процесс интенсивного окисления топлива. Единственной основой этих процессов, химическое соединение углерода с кислородом, сопровождающееся протеканием одних и тех же вторичных химических реакций. Но между этими процессами, имеются определенные различия, которые заключаются в использовании химического тепла топлива.

Распространенные в настоящее время методы сжигания топлива в тонких паровых и водогрейных котлов при постоянном давлении, характеризуется сравнительно невысокими удельными нагрузками топочного объема и низкими коэффициентами теплоотдачи от газов и конвективным поверхностям нагрева.

УДК 620.9

## **АГРОТУРИЗМ 2015: ПАРТНЁРСТВО И ИННОВАЦИИ**

Девялтовская Л.А

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

Агротуризм – это вид деятельности, организуемый в сельской местности, при котором формируются и предоставляются для приезжих гостей услуги по проживанию, отдыху, экскурсионному обслуживанию, и т.д. Агротуризм ориентирован на использование сельскохозяйственных, природных, культурно-исторических и иных ресурсов сельской местности и ее специфики для создания комплексного туристского продукта.

В Беларуси агротуризм, как вид отдыха по сравнению с европейскими странами, еще малоизвестен и пока не входит в число видов туристского продукта. В Беларуси увеличивается количество агроусадоб: к концу 2012 года в стране было зарегистрировано 1875 усадоб, на данный момент их число увеличилось до 2100.

Главными целями развития агротуризма являются удовлетворение спроса населения на отдых в сельской местности и повышение уровня жизни сельчан.

Идея развития агротуризма в белорусском обществе требует проведения определённых мероприятий в области нормативно-правовых актов, финансирования, налогообложения, маркетинговой политики и т.д. Процесс развития агротуризма в Беларуси имеет ряд сдерживающих факторов: близость значительного числа потенциальных потребителей к деревне, распространённость дачного отдыха, отсутствие частной собственности на землю, некоторые социально-географические и природные условия.

Агротуризм имеет все шансы помочь белорусской деревне и развить положительный имидж нашей страны, незаметной пока на мировом туристическом рынке. Однако такие положительные перемены возможны лишь в том случае, если агротуризм станет полноценным сектором туристической отрасли.

УДК 621.316.35

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА**

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Исследователи и ученые каждой страны активно занимаются поиском новых альтернативных способов производства эффективного и рентабельного биотоплива, поскольку запасы ископаемого топлива ограничены и не могут быть переработаны. Данное направление приобретает все большую актуальность, так как биотопливо, помимо экологичности, может дать возможность производства собственного топлива для широкого использования с низкими затратами.

Целью работы является поиск альтернативных вариантов производства биотоплива для уменьшения расхода ископаемого сырья.

Классификация видов биотоплива по поколениям: биотопливо первого поколения производится из любого сельскохозяйственного сырья; биотопливо второго поколения производятся из непищевого сырья; биотопливо третьего поколения – из водорослей.

Рапс. Использование рапсового масла в обычных дизельных двигателях, как правило, невозможно. Технически эту проблему решают двумя путями: приспособлением топлива к двигателю и, созданием нового двигателя, работающего на растительном масле.

Табак. Он не относится к сырью для продуктов питания, а также уже существует структура его переработки.

Биотопливо из водорослей. Рассматриваются два возможных направления энергетического использования водорослей:

прямое сжигание водорослевой биомассы;

ее переработка в жидкое моторное топливо – биодизель.

Оба направления актуальны в малой тепловой энергетике, первое – для реализации в водогрейных котельных и мини-ТЭЦ, а второе – для тепловых поршневых мини-электростанций с дизельными двигателями.

Биотопливо, являясь возобновляемым энергоносителем, должно составлять все большую конкуренцию традиционным исчерпаемым природным энергетическим богатствам, таким, как нефть и природный газ. Биомассу можно превращать в энергоемкие соединения, которые допустимо использовать для транспорта, для обогрева жилищ, для химической промышленности. Такое использование биомассы может сыграть существенную роль в энергетической безопасности и охране окружающей среды.

УДК 621.313

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ**

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

В настоящее время основные усилия по экономии электроэнергии сосредоточены в области потребления энергии – на промышленных объектах и объектах инфраструктуры. Однако стоит обратить внимание и на этап производства электроэнергии, а именно на объекты собственных нужд электростанций, поскольку в их работе кроется большой потенциал энергосбережения.

Анализ электробаланса промышленных предприятий показывает, что основными статьями расхода электроэнергии являются силовое оборудование, электротехнология, освещение и вентиляция. В сумме они составляют 80% всей расходной части. Следовательно, именно здесь сосредоточены основные ресурсы экономии электроэнергии. Из всей электроэнергии, потребляемой электроприводом, 40% приходится на электроприводы насосов и вентиляторов, а также конвейерных и подъемных установок.

Целью данной работы является расчёт эффективности внедрения и использования частотно-регулируемых электроприводов (ЧРЭП), а также оценка экологической составляющей применения ЧРЭП.

Произведенные расчеты показывают, что внедрение устройства ЧР в работу насоса подпитки снижает потребление электроэнергии на 75 МВт·ч в год, насоса охлаждения – около 150 МВт·ч, насоса расхода сетевой воды на 955 МВт·ч. В стоимостном выражении суммарная экономия электроэнергии для вышеперечисленных насосов составит 1573,74 млн. руб. При этом наблюдается снижение потреблённой электрической мощности на 40-45% и сокращение потреблённой электроэнергии на 28-30%. Безусловно, важным показателем эффективности установки ЧРЭП является срок окупаемости инвестиций, который не превышает двух лет. Экологический эффект от внедрения ЧРЭП представляет собой предотвращение выброса 5,7 тонн загрязняющих веществ. Эмиссия CO<sub>2</sub> при этом составит 572,4 тонн в год.

Оценив перспективность и актуальность разработки и внедрения данного мероприятия, можно сделать вывод о целесообразности установки ЧРЭП во всех технологиях, в которых используется электромеханическое преобразование энергии.

УДК 620.92

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРОДОВ**

Елисеева А.И., Сковородцева Я.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Сейчас всё больше внимания уделяется развитию «зелёных» городов, обеспечивающихся энергией с помощью ВИЭ. Большинство развитых стран мира имеют такие примеры.

Исходя из территориальных и экологических особенностей существует возможность создать в Республике Беларусь энергоэффективный город. Местом для него выбран административно-хозяйственный и культурный центр Минской области город Старые Дороги.

Жилая зона города Старые дороги представлена в основном двумя видами застройки: капитальные жилые дома и индивидуальные жилые дома усадебного типа.

Годовая нагрузка города – 16 млн. кВт·ч. Исходя из этого, предлагаем внедрить следующие энергоэффективные установки, работающие на возобновляемых источниках энергии:

1. мини-ТЭЦ установленной мощностью 19,5 МВт. Данная установка не требует больших затрат на транспортировку топлива (древесины);

2. биогазовая установка мощностью 1,5 МВт вблизи колхоза. Выработка составит порядка 7,125 кВт·ч;

3. солнечные коллекторы (батареи);

4. тепловые (геотермальные) насосы.

Данные установки обеспечат город необходимой энергией и покроют всю нагрузку.

Полностью отказаться и отключиться от внешней сети, которая на данный момент питает город, нерационально, ибо в следствии изменения климата или природных катаклизмов город может остаться без электро- и теплоэнергии.

Важно понимать, что развитие возобновляемой энергетики, это вложение в будущее. Поддерживая эти идеи сейчас мы даём шанс будущему поколению на экономическую и энергетическую независимость.

УДК 338

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА В РАМКАХ ЕАЭС

Ержан Р.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

Страны таможенного союза с 1 января 2015 года перешли на единые тарифы на электричество. А поэтапное сближение «электрических» тарифов России, Беларуси, Казахстана началось уже с января текущего года. Единая система расценок на электроэнергию позволит полностью обеспечить спрос на нее в регионе ТС, «а в более широком контексте- воссоединить в единый комплекс национальные электроэнергетические системы на большей части территории СНГ». Плюс к тому, выравнивание этих цен, по экспертным расчетам, позволит, самое меньшее, на 10% ежегодно увеличивать объемы промышленного производства в каждой из этих стран, а сельскохозяйственного на 7-10% в год.

В целом в проекте Концепции говорится, что создание единого энергорынка может обеспечить дополнительный рост ВВП на \$7,2 млрд, экспорт электроэнергии за пределы ЕАЭС увеличится более чем в 2 раза – до 30 млрд кВт·ч с нынешних 14 млрд кВт·ч до, загруженность трансграничных ЛЭП возрастет почти в 5 раз – до 95% с 20%, а рост притока электроэнергии – тоже в 5 раз до 27 млрд кВт·ч.

Функционирование ТС и ЕЭП упразднило таможенные пошлины между нашими странами, привело к формированию общего рынка, предполагающего свободу движения товаров и услуг.

Основные направления развития интеграции, создания эффективно действующего общего энергетического рынка могут быть выражены в следующих аспектах: формирование согласованной энергетической политики государств — членов ТС и ЕЭП; формирование согласованных принципов тарифной политики; создание единого информационного поля для всех участников рынка; унификация норм и стандартов на нефть, нефтепродукты и газ путем принятия технических регламентов; гармонизация национальных законодательств, касающихся сферы энергетики. Совместная работа национальных энергосистем предоставляет выгоды не только энергетикам – повышается надежность энергоснабжения потребителей, эффективность использования природных и финансовых ресурсов. В условиях интеграции, общеотраслевые проблемные вопросы энергетиков могут быть решены с меньшими затратами. Поэтому у участников ЕАЭС, несмотря на различные модели и подходы, имеется практический интерес для формирования общего электроэнергетического рынка.



УДК 629.14

## **БЕЛОРУССКИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ. РЕАЛИИ РАЗВИТИЯ ДАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ В БЕЛАРУСИ**

Кудравец Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Дефицит топлива и, связанный с этим рост цен на энергоносители, а также общемировое понимание необходимости беречь окружающую среду заставляет всё больше производителей автомобилей искать альтернативу двигателю внутреннего сгорания. Ученые достигли высоких успехов в области использования машин, работающих на электродвигателе. С точки зрения экологии выгода от использования электротранспорта очевидна для крупных городов, но в целом по стране она может быть незначительной или отсутствовать вовсе. Суммарный экологический эффект будет зависеть не только от технических характеристик электромобилей, но и от структуры производства электроэнергии по видам генерации и по видам топлива.

По сравнению с бензиновыми аналогами автомобиль на электродвигателе стоит в 1,5- 2 раза дороже из-за большой стоимости аккумуляторных батарей.

На данный момент электромобили являются оптимальным видом легкового транспорта, который отвечает всем требованиям экологической и энергетической безопасности. Основным преимуществом электромобилей является высокий КПД двигателя (76% против 25-30% у ДВС), простота техобслуживания, большой межсервисный пробег. Что касается безопасности, большинство электромобилей получило наивысшую оценку, чего нельзя сказать об автомобилях с ДВС.

Для того чтобы понять, выгодно ли в нашей стране эксплуатировать электромобиль, необходимо просчитать затраты на:

- покупку и эксплуатацию электромобиля;
- покупку и эксплуатацию автомобиля с ДВС.

При существующих ценах на электромобили их эксплуатация попросту невыгодна до тех пор, пока цены на топливо и эксплуатацию автомобилей с ДВС не поднимутся до запредельного уровня. Появление электромобилей в нашей стране является лишь стремлением быть первооткрывателем. Нельзя сказать, что в ближайшие 10 лет в республике резко возрастет количество электромобилей. Для этого необходимо решить ряд вопросов, связанных с обустройством инфраструктуры и вводом в силу законов в разделе экологии.

УДК 338.45:620.9(476)

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Левковская В.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Энергетическая безопасность государства является составной частью системы экономической и национальной безопасности, поэтому обеспечение энергетической безопасности должно быть прерогативой государства и достигается проведением единой государственной политики, системой мер законодательного и иного характера, адекватных выявленным угрозам и дестабилизирующим факторам.

Среди принципов энергетической безопасности можно выделить главные: взаимответственность поставщиков и потребителей энергетических ресурсов; диверсификация поставок топлива и генерирующих источников; социальная направленность.

Для управления энергетической безопасностью необходимо выявить виды угроз, определить значения индикаторов и оценить их пороговые величины, при которых не нарушается долговременное устойчивое функционирование системы. Весьма важным в процессе управления становится анализ возможных последствий реализации угроз.

Основными направлениями энергетической политики, осуществляемой с целью обеспечения энергетической безопасности, являются: использование альтернативных источников энергии с максимальным вовлечением возобновляемых, нетрадиционных и вторичных ресурсов; повышение эффективности использования энергетических ресурсов; обновление основных фондов за счет внедрения передовых высокоэкономичных и ресурсосберегающих технологий и оборудования; оптимизация режимов работы энергосистемы; использование геополитического положения республики с максимальной выгодой; дальнейшее совершенствование ценовой, тарифной и налоговой политики; проведение активной инвестиционной политики; регулирование баланса спроса и предложений на электроэнергию.

Одним из факторов, определяющих энергетическую безопасность энергосистемы, может быть оптимальная структура генерирующих источников. Под оптимальной понимается такая структура, при которой энергосистема обеспечивает надежное энергоснабжение потребителей в каждой части графика нагрузок при минимальном значении топливной составляющей себестоимости.

УДК 620.92

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОФФШОРНЫХ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Левковская В.А., Олешко И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Ветряные энергосистемы являются одними из наиболее технологически продвинутых и эффективных в плане расходов источников генерации электроэнергии. Современные турбины могут производить полезную энергию до 85% года и имеют жизненный цикл как минимум 20 лет.

При выборе месторасположения ветряной электростанции (ВЭС) главным критерием является среднегодовая скорость ветра. Чем выше этот показатель, тем эффективнее будет работать ветроэлектрическая установка. Именно поэтому к оффшорным ВЭС прикован наибольший интерес.

Среди отраслей возобновляемой энергетики по установленной мощности ветроэнергетика развивается особенно быстро. Сейчас уже построены огромные наземные ветропарки (Roscoe Wind Farm).

Преимущества оффшорных ВЭС очевидны: по сравнению с глубинными районами суши на море преобладают более сильные и равномерные воздушные потоки. Еще одним преимуществом может послужить тот факт, что оффшорную ВЭС можно расположить в море вблизи крупного промышленного центра. Существуют разные оффшорные схемы ветряных станций. Самые распространенные – установка и закрепление колонны в морском дне вместе с защитой от эрозии и плавучие трехколонные понтоны, которые можно устанавливаться в областях более сильного и стабильного ветра, где глубина моря выше 50 метров.

Но, несмотря на преимущества у оффшорной ветроэнергетики есть огромный минус – строительство, эксплуатация и обслуживание обходится сложнее и дороже. Разработчики по всему миру располагают ветряные турбины вне установленных судоходных путей, тем самым избегая конфликты с движением судов. Полагают, что оффшорные ВЭС оказывают благоприятное прибежище для нереста рыб и не влияют на эрозию почвы.

Оффшорная ветроэнергетика продолжает развиваться. Уже сегодня есть разработки плавучих ВЭС, не требующих установки фундамента. Все чаще предлагаются даже в чем-то футуристические разработки. И не смотря на некоторую дороговизну «оффшорной» электроэнергии, перспективы в данном сегменте огромные.

УДК 620.9

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В БЕЛАРУСИ

Мачульская В.Д., Захарова К.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

Малые и средние предприятия во всём мире рассматриваются как наиболее динамичный и эффективно развивающийся сектор экономики. Этот сектор со своим новаторским потенциалом, создающий новые рабочие места, особенно важен для успешного развития экономики переходного периода, каковой является экономика Беларуси. Именно этот сектор экономики нуждается в особой поддержке на этапе становления и развития.

Первой и важной проблемой предпринимательства является неэффективное государственное регулирование и отсутствие правовой и нормативной базы деятельности частного сектора. Такие вопросы как налоговая система, регистрация предприятий, лицензирование требуют большой доработки. Следующей типичной проблемой для предпринимательства является низкая возможность привлечения дополнительных средств для расширения своего бизнеса. Кредитные учреждения неохотно финансируют малый бизнес, в первую очередь, из-за отсутствия у представителей последнего залогового обеспечения опыта предпринимательской деятельности.

На более позднем этапе переходного периода у предпринимателей возникают проблемы иного характера и главная из них – это высокая конкуренция, виды которой отличаются в разных странах. Сложность со сбытом своей продукции, товаров и услуг для белорусских предпринимателей, связана с низкой платежеспособностью населения, которая продолжает падать.

Для улучшения сложившейся ситуации, по мнению самих предпринимателей необходимо три основных фактора: стабилизация законодательства, стабилизация валютного курса, гарантия защиты права собственности.

Исключительно важную роль в поддержке предпринимательства играет государство. Эта роль заключается в обеспечении макроэкономической стабильности, проведении правовой реформы, улучшении имиджа предпринимательства.

Положительным примером поддержки развития частного предпринимательства со стороны государства является принятие Государственной программы поддержки малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь.

Также сложилась определенная инфраструктура для поддержки бизнеса. Это: инкубаторы малого предпринимательства, фонды финансовой поддержки, инновационные центры.

В областях, городах, некоторых районных центрах работают советы по развитию предпринимательства.

Все вышеперечисленные меры поддержки предпринимательского сектора говорят о необходимости наличия данного сектора экономики в стране.

УДК 629.113:621

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЯХ

Мирголовская А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Исходя из расположения многоквартирного дома возможна установка солнечных панелей на трех фасадах здания:

1. южный фасад;
2. восточный фасад;
3. западный фасад.

С точки зрения генерации электроэнергии из солнечного излучения наиболее выгодным является расположение с ориентацией на юг. Введем коэффициент готовой эффективности солнечной фотоэлектрической станции, который показывает количество электроэнергии, выработанное на единицу установленной мощности солнечной станции:

1. южный фасад – 713 кВт ч/ кВт;
2. восточный фасад – 540 кВт ч/ кВт;
3. западный фасад - 512 кВт ч/ кВт;

Таким образом, видно, что использование восточного и западного фасада уменьшает выработку солнечной фотоэлектрической станции приблизительно на 25%.

Рассматривая фасад здания исходя из проекта можно предложить следующие варианты расположения солнечных панелей:

1. южная стена технического этажа – блок А;
2. зона от левого края фасада до узких окон в районе 4-11 этажей – блок Б;
3. зона вокруг широких окон в районе 4-19 этажей – блок В;
4. зона вокруг узких окон в районе 13-19 этажей – блок Г.

В расчетах используются панели из поликристаллического кремния характерного синего цвета. Возможна их замена на солнечные панели из монокристаллического кремния черного цвета, что приведет к росту установленной мощности на приблизительно 5% при сохранении геотермических размеров.

Суммируя максимальные показатели для каждого типа панелей получаем максимальную установленную мощность около 70 кВт.

УДК 629.113:621

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Мирголовская А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Первые солнечные панели появились более 50 лет назад, но только в последние годы их использование в Республике Беларусь стало экономически обоснованным. В среднем на 1 кв. м. поверхности земли в Республике Беларусь падает около 1 000 000 Вт солнечного излучения, что соответствует северной и центральной Германии.

На данный момент есть четыре основных схемы использования солнечных панелей:

1) автономная схема подключения солнечных панелей - солнечная панель преобразует солнечное излучение в постоянный ток, который с солнечной панели может идти напрямую для питания определенных устройств, или через зарядное устройство зарядить аккумуляторную батарею (АКБ). АКБ выступает как накопитель энергии. Далее энергия может быть использована для питания приборов постоянного тока. Такая система используется для автономного освещения, автономных систем сигнализации и видеонаблюдения, а также для зарядки аккумуляторов электромобилей;

2) сетевые схемы подключения солнечных панелей. Принципиально данная схема отличается от предыдущей отсутствием накопителей. Вся выработанная солнечными панелями электроэнергия преобразуется в переменный ток и поставляется в сеть синхронно по фазе и частоте;

3) схема подключения солнечных панелей типа «остров». «Островные» технологии – последнее слово в развитии технологий энергосбережения. Основное преимущество – возможно одновременного использования различных источников энергии: основной сети, генератора, солнечных панелей, ветрогенераторов, гидростанций;

4) схема прямого нагрева от солнечных панелей. Вся энергия, что панели вырабатывают, подается на тэн и идет на нагрев воды.

Выбор схемы использования солнечных панелей зависит от конкретной ситуации и в определенных условиях имеет экономическую обоснованность. В случае установки солнечных панелей на фасаде здания в южном направлении достигается производительность в 860 кВт·ч/1 кВт.

УДК 620.92

## ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ДЛЯ МИНИ-ТЭЦ

Олешко И.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

В промышленном масштабе в Европе применяют следующие методы производства и транспортировки щепы:

1. Получение щепы непосредственно на деляне. Порубочные остатки измельчаются в щепу на месте вырубki леса в специальной мобильной измельчительной машине с накопительным бункером. По мере наполнения бункера щепы перевозится на придорожную площадку, где после механического опрокидывания бункера пересыпается в большие контейнеры. Затем щепы транспортируется грузовым автомобилем-контейнеровозом на электростанцию. Это наиболее дорогостоящий вариант производства и доставки щепы.

2. Измельчение на придорожной площадке. Лесосечные отходы перевозятся на придорожную площадку. Отходы складировются и высушиваются. Их измельчение в щепу происходит круглогодично. Щепы подается с измельчительной машины непосредственно в контейнер или щеповоз, без складирования на площадке.

3. Измельчение на специализированном терминале. Порубочные остатки перевозятся с деляны на терминал для сушки, измельчения и дальнейшей перевозки автотранспортом конечному потребителю. Производственные этапы аналогичны этапам заготовки на придорожной площадке.

4. Дробление непосредственно на электростанции. Лесосечные отходы пакетируются на деляне и перевозятся автотранспортом на электростанцию. Измельчение осуществляется на стационарной дробилке. Такой метод более экономичен и позволяет избежать несогласованности в работе звеньев технологической цепочки.

Для получения щепы высокого качества согласно новым нормам классификации необходимо сортировать поступающее сырье. Огромное значение для получения щепы имеет влажность сырья, которая не должна превышать 30%. При такой влажности полученная щепы может храниться на складе, не подвергаясь биологическому разложению и не теряя энергетической ценности. Поскольку свежесрубленная древесина имеет влажность 50–60%, перед измельчением ее необходимо высушить до 30%. Ведь именно от влажности зависит теплота сгорания (теплотворная способность) щепы.

УДК 621.316

## ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИКИ АЭС

Пархомчик Е.М.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Особенности экономики АЭС в основном связаны с использованием ядерного топлива:

1. высокая теплотворная способность ядерного топлива приводит к тому, что АЭС потребляет весьма незначительную массу топлива;

2. стоимость топлива, загружаемого в реактор нельзя отнести сразу на себестоимость электрической энергии, так как в активной зоне находится значительно больше топлива, чем в данный момент расходуется на производство электроэнергии, а также топливо выгорает не сразу;

3. топливная загрузка реактора в связи с большой стоимостью и длительностью ее функционирования в процессе эксплуатации относят к долговременным оборотным средствам;

4. для АЭС характерны значительно большие (в 1,5 раза) капиталовложения, чем в ТЭС, что приводит к существенному увеличению фондоемкости, а также постоянной составляющей годовых затрат на производство электроэнергии на АЭС;

5. главное отличие АЭС от ТЭС заключается в том, что на АЭС доля топливной составляющей себестоимости составляет 30-40%, а постоянная составляющая достигает 70-80% всей себестоимости.

Для характеристики АЭС и эффективности ее работы используют технико-экономические показатели, важнейшими из которых являются:

1. Себестоимость – характеризует совокупность затрат в денежном выражении, овеществляемого и живого труда в процессе производства электроэнергии на АЭС.

2. Удельные капиталовложения в строительство АЭС или удельная стоимость установленного киловатта электрической мощности.

3. К.П.Д. АЭС – характеризует ее экономичность, совершенство проектных решений и технический уровень эксплуатации. Значение К.П.Д. зависит, главным образом, от типа ядерной паро-производительной установки и параметров теплоносителя.

4. Предельный срок эксплуатации АЭС – характеризует надежность и долговечность работы основного оборудования и АЭС в целом.

5. Экономическая эффективность сооружения АЭС – ее показателем в энергетике является минимум приведенных затрат, чистая дисконтированная стоимость.

6. Глубина выгорания ядерного топлива – характеризует эффективность использования ядерного топлива.



УДК 639.58

## ЛАЗЕРНО-ЛЮМИНОФОРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Пичуев А.Д., Старовойтов Ю.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

Лазерно-люминофорная технология – достаточно новая технология в области светотехники, которая нашла свое применение в инновационных продуктах отдельных компаний.

Лазерно-люминофорная технология, применяемая в дисплеях, по принципу действия схожа с технологией электронно-лучевых трубок. Внутренняя поверхность дисплея покрывается люминофором трех базовых цветов. Если в ЭЛТ-мониторах изображение воспроизводится с помощью электронного луча, подаваемого на люминофор, то в данном случае, свечение люминофора обеспечивается не электронным лучом, а лазерным. От интенсивности лазерного луча зависит яркость свечения люминофора. Излучение направляется на плоскость экрана множеством мелких зеркал с изменяющимися углами наклона, обеспечивающих механическую развертку.

Из достоинств, стоит отметить, возможность применения экранов большого размера (лазер обеспечивает доступ в любой участок экрана на любом расстоянии и под любым углом), различных форм и соотношений высота-ширина, хорошая яркость и большие углы обзора, низкие эксплуатационные расходы и малое энергопотребление. Из недостатков: высокая стоимость, сложность самостоятельной сборки и установки, невысокое разрешение экрана.

Лазерно-люминофорная технология также применяется в фарах некоторых современных автомобилей. В существующих конструкциях лучи нескольких лазеров попадают на фосфорную пластину, люминофор, которая испускает пучок белого света. Такой свет обладает дальностью до 600 м, что в 1,5-2 раза превышает дальность светодиодных фар.

Если применением этой технологии в дисплеях заинтересуются крупные компании, лазерно-люминофорные телевизоры смогут конкурировать с жидкокристаллическими и плазменными телевизорами уже через несколько лет. В фарах автомобилей лазерно-люминофорная технология уже нашла свое применение в дорогих моделях, но с течением времени ожидается снижение стоимости производства таких фар, а значит перспективы распространения этой технологии - колоссальны.

УДК 629.48

## ТУРБОДЕТАНДЕР И ЕГО ПРИНЦИП РАБОТЫ

Пичуев А.Д., Старовойтов Ю.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Детандер – устройство, преобразующее потенциальную энергию газа в механическую энергию. Наиболее распространены поршневые детандеры и турбодетандеры.

Турбодетандеры – лопаточные машины непрерывного действия, в которых поток проходит через неподвижные направляющие каналы (сопла), преобразующие часть потенциальной энергии газа в кинетическую, и систему вращающихся лопаточных каналов ротора, где энергия потока преобразуется в механическую работу, в результате чего происходит охлаждение газа. Они делятся по направлению движения потока на центростремительные, центробежные и осевые; по степени расширения газа в соплах – на активные и реактивные; по числу ступеней расширения — на одно- и многоступенчатые. Наиболее распространён реактивный одноступенчатый центростремительный Д., разработанный П. Л. Капицей. Торможение турбинных Д. осуществляется электрогенератором, гидротормозом, нагнетателем, насосом. Турбодетандеры применяются главным образом в установках с холодильным циклом низкого давления  $0,4-0,8 \text{ Мн/м}^2$  ( $4-8 \text{ кгс/см}^2$ ) для объёмных (физических) расходов газа  $40-4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Созданы турбодетандеры для холодильных циклов низкого, среднего и высокого давлений с объёмными расходами газа  $1,5-40 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Эти машины характеризуются малыми размерами и высокой частотой вращения ротора.

Основное применение турбодетандеры нашли в технологических процессах получения жидкого водорода, кислорода, воздуха, азота и других криогенных газов. Однако сегодня турбодетандеры начинают применяться в процессах утилизации избыточной «даровой» энергии дросселируемого природного газа на ГРС и ГРП при распределении газа, транспортируемого по магистральным газопроводам. Большие перспективы применения турбодетандеров в технологических процессах производств с применением пара в качестве основного энергоносителя (нефтеперерабатывающие и химические заводы), а также на газовых и нефтяных промыслах.

УДК 620.9

## ПОВЫШЕНИЕ АНОНИМНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИКИ

Роскач А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Анонимная ответственность является одним из атрибутов человека максимально эффективно использующего как свои ресурсы, так и ресурсы других людей.

Уверенность в том, что мы делаем все правильно, мешает задумываться, что же мы делаем не так. Но статистика в плане структурирования и записывания информации беспощадна. Она может надолго сохранить всё, что вам хотелось забыть. С помощью статистики конкретного человека можно найти, что он делает не правильно.

А память, стараясь избежать стресса, модифицирует или просто стирает информацию о негативном опыте или же связанную с ним. В итоге каждый раз приходится наткаться на одни и те же грабли и повторять одни и те же ошибки. Я считаю, что опыт является положительным, если из него можно извлечь какой-нибудь урок.

Я объясняю то, что нет волшебного способа улучшить качество жизни и анонимную ответственность. Это целый комплекс мер, работая над которыми можно достичь результата.

Наше восприятие жизни может отличаться от действительности, если мы не понимаем, что вокруг нас происходит. Пытаясь рационализировать происходящее, сокращается большой объём информации, в несущественных связях которой скрываются наши проблемы.

Обращая внимание на определённые данные и отбрасывая другие, аргументируя тем, что это не важно; но может быть упущена причина проблемы, а не следствие, с которым борются управляющие.

В этой работе я бы хотел обратить внимание на то, почему мы повторяем свои старые ошибки, какие последствия они могут принести и каким способом их можно больше не совершать.

УДК 674.9

## ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ МУСОРА

Соловей Е.В., Погоржельская И.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Новая система для производства газа может уменьшить количество мусора и сэкономить значительное количество органического топлива.

Технология, разработанная исследователями Массачусетского технологического института, основана не на сжигании отходов и не загрязняет атмосферу. Метод заключается в испарении органических соединений с образованием синтетического газа, или синтез-газа (смеси водорода и угарного газа). Синтез-газ можно использовать для производства топлива и различных химических соединений.

Кроме городского мусора, метод позволяет использовать в качестве сырья сельскохозяйственные отходы, причем с более низкими финансовыми затратами.

Производство синтез-газа с помощью нового метода происходит в два этапа. Сначала отходы нагреваются до 1200 градусов Цельсия в камере, с небольшим количеством кислорода, обеспечивающим частичное окисление углерода и образование свободного водорода. На этой стадии происходит переработка только части органического вещества, оставшаяся часть превращается в углеподобный материал. Этот «уголь» также газифицируется при пропускании через плазму дугового разряда. Остающийся в итоге неорганический материал окисляется и помещается в безопасную для окружающей среды стекломассу, которую после застывания можно использовать при строительстве дорог.

Далее происходит получение этанола и метанола. Этанол широко используется в качестве добавки к топливу либо как альтернатива бензину. Метанол необходим для производства биодизельного топлива и обычно получается из содержащегося в природном газе метана.

На сегодняшний день в мире параллельно ведется большое количество проектов, целью которых является поиск оптимального метода переработки различных отходов в топливо. Победитель пока неизвестен, и успех нового подхода во многом зависит от того, удастся ли его создателям разработать полноценную систему, которая обеспечивала бы полный цикл, начиная от получения сырья и заканчивая сбытом производимого в промышленных масштабах топлива.

УДК 621.8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Толкачева В.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Электроэнергетика Беларуси — это объединенная энергетическая система, которая представляет собой постоянно развивающийся высокоавтоматизированный комплекс, объединенный общим режимом работы и единым централизованным диспетчерским управлением. Отрасль надежно и бесперебойно осуществляет выработку, передачу и распределение электрической и тепловой энергии. Производственный потенциал белорусской энергосистемы представлен 27 крупными электростанциями, 25 районными котельными, включает почти 7 тысяч километров системообразующих линий электропередач высокого напряжения и около 5 тысяч километров тепловых сетей.

Модель организации энергетической отрасли в значительной мере определяется спецификой товара – электроэнергии, – который обладает такими особенностями, как: невозможность хранения и складирования, обязательное наличие сопутствующей инфраструктуры транспортировки, высокая степень однородности и единый поток, непостоянство и неэластичность спроса. Функциональное назначение электроэнергии в совокупности с широким спектром применения предопределяют ее важнейшее свойство – быть предметом первой необходимости. В этом качестве электроэнергия является товаром с неэластичным спросом, что обусловлено отсутствием товаров-заменителей. Указанные особенности предопределяют специфику преобразования используемых в электроэнергетике ресурсов в конечный продукт. В этом трансформационном процессе можно выделить следующие стадии:

- генерация электрической энергии высокого напряжения – преобразование энергоносителей в электроэнергию;
- передача по магистральным сетям электроэнергии высокого напряжения;
- диспетчеризация и управление потоками электроэнергии – предоставление системных услуг, распределение электроэнергии по сетям, дифференцированным в зависимости от напряжения, сбыт электрической энергии определенным категориям потребителей.

Каждому из указанных видов деятельности присущи индивидуальные экономические особенности, связанные с технологией соответствующих подсистем.

УДК 629.735

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Хомич А.А., Гончарова М.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

В условиях постоянно растущих цен на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР), дефицита бюджетных средств особую актуальность приобретает энергетический менеджмент – управление и оптимизация энергопотребления и затрат на энергоносители. Признание важности энергии как ресурса, который требует такого же менеджмента, как любой дорогостоящий продукт, является первым шагом к улучшению энергетической и экологической эффективности.

Система энергоменеджмента представляет собой комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (организационных мероприятий, технических средств и программно-методического обеспечения), направленных на формирование энергетической политики, постановки целей и разработке мероприятий по достижению этих целей. Система позволяет руководству принимать оперативные управленческие решения, направленные на потребление минимально необходимого количества ТЭР.

В нашей стране энергетический менеджмент начал внедряться в практику хозяйствования после провозглашения республики самостоятельным государством.

Задача его состоит в проведении комплексного анализа энергопотребления и на его основе - проведение энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Основными функциями энергоменеджмента являются:

взаимодействие с энергопотребителями предприятия и с энергоснабжающими организациями;

обработка и предоставление информации об энергопотреблении по отдельным структурным подразделениям (производствам, цехам, участкам);

подготовка предложений по энергосбережению;

запуск энергосберегающих проектов и управление ими;

проведение разъяснительно-воспитательной работы со всеми работниками о важности и необходимости энергосбережения.

Для реализации этих функций необходимо организовать на предприятии единую, распределенную по всем уровням управления, информационную систему для оперативного контроля и управления производством и потреблением энергоресурсов.

УДК 621.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ

Хомич А.А., Гончарова М.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Энергоэффективное освещение означает устройство систем освещения таким образом, чтобы при обеспечении требуемых норм потреблялось минимальное количество электроэнергии. Сокращение расхода электроэнергии возможно следующими основными путями:

- снижением номинальной мощности освещения;
- уменьшением времени использования светильников.

Снижение номинальной (установленной) мощности освещения в первую очередь означает переход к более эффективным источникам света, дающим нужные потоки при существенно меньшем энергопотреблении. Для того чтобы определить самый оптимальный вариант целесообразно произвести сравнение ламп и определить их слабые и сильные стороны. Главным преимуществом, которым обладают лампы накаливания – это их довольно низкая стоимость. К недостаткам стоит отнести самую низкую световую отдачу, колоссальное потребление энергии, недолговечность. Более выгодным вариантом являются энергосберегающие лампочки, обладающие низким энергопотреблением, примерно в 5 раз меньше, чем у ламп накаливания и большим сроком службы, который в 10-12 раз больше, чем у лампы накаливания, но имеют такой недостаток, как высокая стоимость. Главной особенностью светодиодных ламп является их низкое энергопотребление, большой срок службы. Также существенным преимуществом светодиодных ламп специалисты считают их экологичность. Чтобы определить реальную экономию, необходимо учесть такие факторы, как потребление электроэнергии, стоимость лампы, срок службы. В результате за срок службы светодиодная лампа позволяет сэкономить, по сравнению с лампой накаливания 1,5 млн. руб. и около 220 тыс. рублей – по сравнению с люминесцентной лампой. По данным ГПУ «БЕЛЭНЕРГО» в 2014 году было отпущено 37,4 млрд. кВт·ч электроэнергии, на долю индивидуальных потребителей приходится 14,96 млрд. кВт·ч. В среднем 30% от общего количества потребляемой электроэнергии расходуется на освещение. Соответственно на освещение приходится 4,488 млрд. кВт·ч. При установке индивидуальными потребителями диодных ламп общее потребление электроэнергии сократится на 93,4% , так как замена ламп даст экономию в 4,1 млрд. кВт·ч.

УДК 620.9

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМНОГО РАСХОДОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

Цукрова М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Проблема экономии электроэнергии становится все более актуальной в мире и поэтому методы ее экономии имеют важное практическое и научное значение. Существующие многочисленные электропотребители переменного тока, содержащие индуктивности, пока неэкономично расходуют потребляемую электроэнергию, поскольку бесполезно обмениваются реактивными токами и реактивной энергией индуктивностей с питающей электросетью. Этот бесполезный реактивный энергообмен сети и индуктивных электроприемников реактивными токами дважды за период вполне можно устранить разными методами. В результате отключения индуктивной нагрузки от сети переменного тока в данные реактивные интервалы времени бесполезный переток реактивных токов устраняется. Данный метод циклического отключения индуктивной нагрузки от сети в реактивные интервалы позволит получить экономию электроэнергии до 20-30% .

Запасенная ранее реактивная энергия индуктивности длительное время сохраняется внутри многофазных электроприемников благодаря явлению круговой циркуляции ее по фазам индуктивной нагрузки, что и приводит к существенной экономии электроэнергии. В данном случае радикальная экономия электроэнергии индуктивными электропотребителями (до 100%) может быть достигнута при быстродействующей коммутации тока потребления дважды за период в моменты его максимума.

Эффективность разрывного метода заключается в полезном использовании возникающей при разрыве тока в индуктивности явления электромагнитной самоиндукции. Для его реализации индуктивные электрические нагрузки (потребители) должны иметь замкнутые вторичные электрические и электромагнитные контура. В асинхронных электрических машинах вторичным электрическим и электромагнитным контурами служит ее статорный магнитопровод и ротор, в трансформаторах – их магнитопроводы и вторичные обмотки.



УДК 629.41

## ПРИМЕНЕНИЕ РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Чигак С.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Собственные источники энергосистемы Республики Беларусь загружены немногим более на 50% и даже при отсутствии импорта их загрузка не превысила бы 75%, что говорит об избыточности мощностей. С одной стороны, импортная электроэнергия экономически выгодна, потому что дешевле собственной, с другой – условно-постоянные затраты на содержание незагруженных электростанций увеличивают тарифы. Эти обстоятельства делают актуальной проблему реформирования энергетической системы РБ с применением рыночных механизмов в энергетике. На примере ведущих экономик мира рассмотрим различные варианты реформирования энергетических рынков и проецирование этих вариантов на энергетическую систему Республики Беларусь.

Основным органом, ответственным за разработку и согласование энергетической политики ЕС, является Генеральная дирекция по энергетике. Либерализация рынков ЕС не предполагала обязательной приватизации электроэнергетики. Во многих странах по-прежнему остались крупные генерирующие компании, большая часть акций, которых принадлежит государству (Италия, Швеция). Компании, обладающие большой долей и властью на рынках соответствующих стран, характерны и в целом для ЕС.

В электроэнергетике США взят курс на либерализацию рынка, то есть на разделение функций генерации мощностей и их передачи, потребителей и свободный выбор покупателей и продавцов. В то же время сосуществуют разные модели рынков в связи с тем, что отдельные штаты имеют существенную законодательную самостоятельность.

Критериями удачности или неудачности либерализации служат два параметра:

- динамика цен;
- надежность работы энергосистемы – стабильность снабжения.

Рассмотрев различные модели проведения реформы энергетической системы и принимая во внимание макроэкономические показатели Республики Беларусь, можно сказать, что проведение либерализации энергетической отрасли по европейскому образцу является наиболее оптимальным вариантом на сегодняшний день.

УДК 621.577

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В ЖИЛОМ ДОМЕ

Чиж Е.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Тепловой насос относится к современным альтернативным источникам энергии. Основным назначением этого высокотехнологичного оборудования является отопление помещения с наименьшими финансовыми затратами. Использование теплового насоса позволяет получать энергию даже из воздуха. Принцип работы таких насосов похож на принцип работы кондиционеров и холодильников. Но если холодильник отдает холод внутрь, а тепло – наружу, то здесь наоборот: холод уходит в землю, наверх идет тепло. Геотермальные насосы могут обеспечить получение до 4 раз больше энергии, чем потребляют сами, потому что они перемещают тепло, а не вырабатывают его.

Наиболее распространенный тип теплового насоса – воздушный насос, источником тепла, которого является воздух.

Высшая эффективность достигается при использовании геотермальных (наземного или подземного источника воды) тепловых насосов, которые передают тепло в дом из земли или близлежащих источников воды. Хотя они и дороже для установки, геотермальные тепловые насосы имеют низкие эксплуатационные расходы, поскольку они используют относительно постоянную температуру земли или подземных вод. При этом выбор установки зависит от размера дома, состояния недр и природы. Насосы, использующие наземные или подземные воды в качестве источника тепла, могут быть использованы в экстремальных климатических условиях, в отличие от «воздушных» насосов, а удовлетворенность клиентов такой системы очень высока.

Оценим возможность применения геотермального теплового насоса в жилом доме площадью 400 м<sup>2</sup>, при количестве семи человек.

Система нагревает несколько сот литров воды, которая поступает в «теплый» водяной пол и отапливает дом. Также горячая вода поступает в систему водоснабжения. Дополнительно горячая вода догревается солнечными коллекторами. Суточное потребление воды минимум 50 литров на человека в сутки.

Тепловой насос и коллекторы не потребляют много электроэнергии. В пиковом режиме, к слову, геотермальный насос потребляет примерно 3 киловатта, а в номинальном режиме потребляет 1 киловатт.

УДК 622.278

## ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ

Шклярник Ф.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

Газификация представляет собой процесс частичного окисления, в результате которого уголь, низкокачественный бурый уголь, древесина, нефтяные остатки и другие горючие отходы преобразуются в синтез-газ. Синтез-газ – это уникальное сырьё для получения множества экологически чистых и дорогостоящих продуктов, таких как моторные топлива, различные удобрения, синтетический природный газ, водород, метанол и других различных продуктов. Процесс газификации характеризуется практически нулевым уровнем выбросов, по сравнению с традиционным сжиганием угля, а побочные продукты газификации (азот, аргон, сера и шлак) являются безопасными для окружающей среды. Кроме того, они востребованы в металлургических, химических и других производствах. Преимущества технологии газификации: низкий уровень выбросов (близкий к нулю), экологически чистая технология, безопасные для окружающей среды побочные продукты, источник получения альтернативного топлива.

Запасы бурого угля в Беларуси оцениваются в 1,5 миллиарда тонн, в том числе разведанные – в 160 миллиона тонн. Наиболее перспективным является 2-х стадийное сжигание – с генерацией и последующим дожиганием полученных углеводородных газов. Однако в соответствии с коэффициентом вскрыши, равным 3-4, из недр будет извлечено и захоронено в отвалах примерно 35 миллионов тонн горной массы, что повлияет на экологию региона. Поэтому целесообразно рассмотреть применение технологии скважинной газификации бурого угля – ПГУ. Такая технология может применяться для разработки угольных пластов со сложными горногеологическими условиями залегания, при этом совмещаются процессы обогащения угля, его переработка и получение готового продукта в виде газовых смесей.

На сегодняшний день подземная газификация угля является конкурентоспособной технологией, в результате использования которой производятся бензин, дизельное и авиационное топлива, электричество и множество различных химических веществ. Для подземной газификации угля не требуется внешнего источника воды, что является основным положительным фактором для сохранения окружающей среды в противоположность водоёмким процессам добычи, переработки угля и получения электроэнергии на угольных ТЭС.

УДК 621.311.24;621.548(075.8)

## РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Шмакова А.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

В Республике Беларусь принят закон о возобновляемых источниках энергии. Он предусматривает принятие мер по увеличению объемов замещения, закупаемых за пределами Республики Беларусь топливно-энергетических ресурсов возобновляемыми источниками энергии. Возобновляемые источники энергии – энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, древесного топлива, иных видов биомассы, биогаза, а также иные источники энергии, не относящиеся к невозобновляемым.

Наиболее перспективными направлениями развития возобновляемой энергетики республики специалисты называют гидроэнергетику и древесное биосырьё. Затем следует ВЭУ, биогазовые установки, солнечная энергетика и т.д.

Беларусь не характеризуется хорошим ветровым потенциалом, но все-таки есть возможность использования энергии ветра. На территории республики выявлено 1840 площадок для размещения ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии примерно 2,5 млрд. кВт·ч.

На 01 января 2015г. в Республике Беларусь эксплуатировалось 47 ВЭУ общей мощностью 26 МВт. Первой в стране промышленной ветроэнергетической установкой мегаваттного класса стала установка вблизи населённого пункта Грабники Новогрудского района Гродненской области, электрическая мощность которой равна 1,5 МВт. Начальная скорость ветра для включения ветроэнергетической установки в работу – 3 м/с. Скорость ветра, позволяющая достигнуть номинальной мощности, составляет 11 м/с. За 2012-2014 гг. выработка электроэнергии составила 4120 тыс. кВт·ч., а среднечасовая мощность – 420,2 кВт, что является выше проектных данных. Среднегодовая себестоимость произведенной электроэнергии за 3 года эксплуатации составляет 7,93 цент/кВтч с учётом оплаты % по товарному кредиту и примерно 5,0 цент/кВтч без учёта кредитных ресурсов. Себестоимость соответствует уровню стоимости покупной электроэнергии от блок-станций Гродненской области.

Таким образом, по результатам эксплуатации ветроэнергетической установки можно сделать вывод, что в условиях Республики Беларусь целесообразна выработка электроэнергии в промышленных объемах за счет энергии ветра.

УДК 621.039

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭС**

Шумский А.Н.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

На сегодняшний день 31 страна использует атомные электростанции. В мире действует 388 энергетических ядерных реакторов общей мощностью 333 ГВт. Однако можно проследить, что за последние 10-15 лет отрасль атомной энергетики практически не наращивала масштабов производства электроэнергии. В первую очередь данная тенденция связана с экологическими последствиями от использования АЭС.

Первой рассматриваемой нами экологической проблемой является радиоактивное излучение. Департамент общественного здравоохранения штата Массачусетс установил, что у людей, живущих и работающих в двадцатимильной зоне АЭС «Пилигрим», в 4 раза выше заболеваемость лейкемией, чем ожидалось. Однако российские исследования на эту тему дали диагонально противоположный результат. Наблюдения ведутся в зоне расположения двух атомных станций – Калининской (75 тыс. человек) и Ростовской (36 тыс. человек). Исследования показали, что груз наследственных болезней у людей, живущих по соседству с АЭС, близок к среднему по России. На обеих станциях – и Калининской, и Ростовской – радиационная обстановка благоприятная.

Следующей проблемой является утилизация радиоактивных отходов. С одной стороны, они более чем на 90 % состоит из материалов, пригодных для дальнейшего использования в промышленности. С другой, они содержат потенциально опасные, радиоактивные вещества. Вариант переработки ядерных отходов на радиохимических заводах представляет замкнутый топливный цикл. Главным аргументом в пользу переработки является повторное вовлечение сырья в цикл: резкое повышение эффективности использования природного сырья. Переработка ядерных отходов в промышленном масштабе осуществляется в Великобритании, Франции, России. Вариант прямого захоронения отходов без переработки представляет открытый топливный цикл. Отходы предполагается консервировать в могильниках на сотни лет, однако на практике на сегодняшний день не был реализован ни один такой проект, в первую очередь из-за его высокой стоимости. Во многих странах ядерные отходы хранятся прямо на АЭС.

Самым пугающим последствием использования ядерной энергии является авария. Самые крупные из них, Чернобыльская АЭС и Фукусима-1, не дают забыть об опасности ядерной энергетики. Катастрофа в Чернобыле показала, что потери при аварии на ядерном энергетическом реакторе на несколько порядков превышают потери при аварии на энергетической установке такой же мощности, использующей ископаемое топливо. Непосредственно в период острой фазы аварии на ЧАЭС острому облучению подверглось свыше 200 человек. В результате катастрофы была загрязнена территория 17 стран Европы общей площадью более 207 тыс. км<sup>2</sup>. К весне 1989 года количество участников работ по ликвидации последствий аварии в СССР оценивалось в 250 тыс. человек. Всего на загрязненных территориях Белоруссии, Украины и России выявлено 1800 случаев рака щитовидной железы. Вопрос о том, какая их доля относится к радиационно-индуцированным, остается открытым. Одновременно с этим показатели смертности ликвидаторов не превышают показатель смертности соответствующих групп населения по странам СНГ. Этот факт и отсутствие зависимости частоты инвалидности от полученной дозы являются доказательством того, что эффект повышенной инвалидности скорее всего имеет социальные причины. Многолетний стресс, частые самоограничения в потреблении ценных продуктов питания, обусловленные боязнью употребления радионуклидов, заметно более низкий, чем на незагрязненных территориях, уровень жизни привели к тому, что многие показатели заболеваемости и здоровья населения ухудшились.

Однако не стоит забывать, что любая энергетика опасна. Вспомним аварию на дамбе Баньцяо в Китае, построенную в том числе и в целях генерации электричества – тогда погибли от 26 до 171 тыс. человек. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС – погибло 75 человек. В одном Китае при добыче угля ежегодно погибают 6000 шахтеров. После каждого инцидента на АЭС – причины анализируются, и устраняются на всех блоках.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что экологическая опасность АЭС является спорной и во многом преувеличенной. С развитием технологий и освоением реакторов на быстрых нейтронах экологическая безопасность АЭС вырастет и, хоть это и требует огромных капиталовложений, со временем АЭС могут заменить собой тепловые электростанции, работающие на ископаемом топливе, которое является ресурсом ограниченным, и многие страны уже беспокоятся об их истощении. Топливная база современных АЭС, U-235, так же является ресурсом, истощение которого не за горами. Однако, развитие реакторов на быстрых нейтронах позволит задействовать в технологическом процессе получения электричества U-238, который составляет 99% всех запасов урана, и тем самым решая проблему получения энергии на ближайшие тысячу лет.

УДК 620.92

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Ялтуховская В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Самосюк Н.А.

На сегодняшний день использованию вторичных энергетических ресурсов уделяется большое внимание. Вторичные энергетические ресурсы, ВЭР – источники энергии, получаемые из побочных продуктов или отходов основного производства, включающие горючие газы технологических процессов (нефтезаводские, доменные, попутные нефтедобычи и др.), отработанный пар, а также часть электрических потерь, получающихся в технологическом процессе, которые могут быть повторно использованы для получения энергии (в том числе тепловой) за пределами данного процесса. Необходимость использования ВЭР объясняется тем, что коэффициент полезного использования (КПИ) энергоресурсов в Республике Беларусь и странах СНГ – главный показатель эффективности производства – не достигает 40%, что свидетельствует о существовании больших ресурсов экономики. Утилизация ВЭР позволяет получить большую экономию топлива и существенно снизить капитальные затраты на создание соответствующих энергосберегающих установок.

В настоящее время большое внимание уделяется утилизации твердых древесных отходов, лигнина, отходов сельскохозяйственного производства и т.п. Одной из первоочередных задач является их утилизация путем сжигания с целью получения теплоты.

Вторичные энергетические ресурсы по видам энергии подразделяют на горючие, тепловые и избыточного давления.

Применение вторичных энергетических ресурсов можно встретить на наших предприятиях отрасли. Например, на Минской ТЭЦ-4: подогрев сырой воды во встроенных пучках турбин, использование теплоты общеобменной вентиляции главного корпуса для повышения экономичности котлов в отопительный период, использование теплоты выпаров деаэратора для подогрева сырой воды, отключение подачи пара на калориферы котлов, реализация трехступенчатого подогрева сетевой воды на турбине и выработка электроэнергии на паре П-отбора турбины.