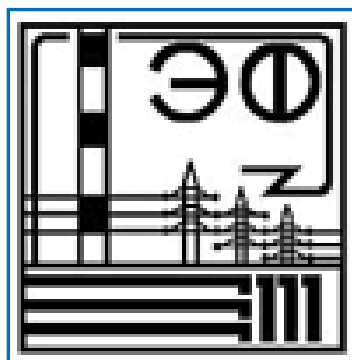


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ



**Материалы 72 – й
научно – технической конференции
студентов и аспирантов**

Электронный учебный материал

Минск 2016

УДК 621.311
ББК 31 я 43
А 43

Рецензент

Доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники УО БГТУ, к.т.н. О.И. Александров

В сборник включены материалы 72-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 № БНТУ/ЭФ39-59.2016

© Жуковская Т.Е., компьютерный дизайн, 2016

© БНТУ ЭФ, 2016

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

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И РАСЧЕТА ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ МОЛНИИ

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

АКТИВНАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Рылач А. В.
Научный руководитель – ассистент Бычков М. М.

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КРУЭ 500 КВ ПО СХЕМЕ 3/2 ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ЦЕПЬ

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

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Голота А.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

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

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ АППАРАТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Гапанович А. В.
Научный руководитель – аспирант Шпаковский А. А.

АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ ТИРИСТОРНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шеметовец Е.В.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ MTS

Емелина А.С.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

РАЗНОВИДНОСТИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КРУЭ

Воропай М. В.
Научный руководитель – Климентионик А.К.

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Комиссаров М.А.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ ЗОН МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Яблонский О. В., Баран А. Г.
Научный руководитель – аспирант Шпаковский А.А.

ТЕРМИНАЛЫ ДУГОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

МАСЮКЕВИЧ С.В., Мельник Е.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каченя В.С.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Валенто А.Е.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гавриелок Ю.В., Башаркевич Я.В., Баран А.Г.
Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ИХ КОНСТРУКЦИИ

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

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ТИПА 8DN8

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

ПЕРЕДВИЖНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мамончик А.Н., Баран А.Г.
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

АСИНХРОНИЗИРОВАННАЯ СИНХРОННАЯ МАШИНА

Катрич А.Е.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Овчинникова А.П.
Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Шумай А. Я.
Научный руководитель – ассистент Артеменко К. И.

ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Махнач Д.Н.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

ВНУТРИФАЗНЫЕ И МЕЖДУФАЗНЫЕ РАСПОРКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дисковец А.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РАМКАХ БОЛОНСКОГО ПРОЦЕССА

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

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ И ВЫШЕ С ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКОЙ

Соколов В. В., Баран А. Г.
Научный руководитель – Андрукевич А. П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ТКЗ

Андреев А. Ф., Гавриелок Ю. В.
Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Башаркевич Я.В., Баран А.Г.
Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

ДЕМПФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ И ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ

Кимстац Д.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Потащиц Я.В.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

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

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ

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

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ МОЩНОСТЬЮ 1200 МВт

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

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VISSIM

Синяк В.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Жуковский Е.С.
Научный руководитель – ассистент Климентионюк А.К.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Салобуто С.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА В СОСТАВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Бобрик Е.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЗАКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Санюк В.Д.
Руководитель – Кисляков А.Ю

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

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

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И БИОСФЕРА

Боков Е.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силуок С.М.

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Мигус Н.А., Будников В.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТОКОПРОВОДОВ

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

ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Григорьев Р.Д.
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

ЦИФРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Исаков Е.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Кулявец Д.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

ВЛИЯНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАБОТУ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ

Прохорова М.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

ПРОВЕРКА КАБЕЛЕЙ НА НЕВОЗГОРАНИЕ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ, И ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ИХ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ ПРИ ЧАСТОТАХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ

Диордица В.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Стасевич А.Ю.
Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА

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

АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Приходько Р. Н.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силуок С. М.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Тимофейчик Л.А.
Научный руководитель – Гурьянчик О.А.

ВЫБОР, РАСЧЕТ ЕМКОСТИ АБ И ПОДЗАРЯДНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Гагина Т. М.
Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА

Байрамов Д.Г.
Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ

Дайлидко А.В.
Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Сырокваш Е. В.
Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Юшкевич Р.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Шуманский В.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Сапаров М.У.
Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ СЕТЕЙ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Сирисько К.В.
Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ

Залозный Р.Н.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ермола Д.С.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Селивонюк Т.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА НА КРУ

Якимчик А.А., Кулак И.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ 0,4 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Дубовский А.А., Гавриелок Ю.В.
Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА. ДЕМФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ

Шульга Е.В., Алексеев С.И.
Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Щербицкий А.В.
Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

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

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Тимофеев В.О.
Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА

Яловчик Н. Н.
Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Пылинская Е.Р., Чирич В.В.
Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Куликова А. С.
Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

Тарасов В.С.
Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА АЭС И ИХ ПРОВЕРКА НА НЕВОЗГОРАЕМОСТЬ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

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

ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Буров Н. А.
Научный руководитель – ассистент Климентионов А. К.

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мазур А. Д.
Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л. В.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Козловский Н. А.
Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л. В.

АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Целобанов В. А.
Научный руководитель – старший преподаватель Потащиц Я. В.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

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

ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гавриелок Ю. В., Тукай П. А., Баран А. Г.

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Гавриелок Ю. В.
Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Тукай П. А., Баран А. Г.
Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С РАСЩЕПЛЕННОЙ ФАЗОЙ

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

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Хлиманков А. В.
Научный руководитель – Кисляков А. Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Витязев А. С.
Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

ЛИТЫЕ ТОКОПРОВОДЫ

Лапко Д. А.
Научный руководитель – старший преподаватель Климович П. И.

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ 330 КВ

БОГАТКО А.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР СЕРГЕЙ И.И.

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

КАРПОВИЧ В. П.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ КЛИМЕНТИОНОВ А. К.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

ДЕНИСЕВИЧ Т.А.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ НОВАШ И.В.

УДК 621.316.99

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ МОЛНИИ

Дунченко Д.А.

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

Заземлением какой-либо части электрической установки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством с целью сохранения на ней достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или ее элементов. Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты.

К частям, подлежащим заземлению, относятся металлические части оборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Для заземляющего устройства станций и подстанций в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Естественными заземлителями являются металлические элементы, проложенные в земле для других целей, но которые могут быть использованы в качестве электродов заземлителя подстанции. Такими естественными заземлителями в первую очередь являются металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций, имеющие соединение с землей. К естественным заземлителям можно отнести и систему трос – опоры, т. е. грозозащитные заземления опор линий высокого напряжения, соединенные с заземлителем подстанции грозозащитным тросом.

Для защитного заземления станций и подстанций всех напряжений используется общее заземляющее устройство. Общий заземлитель используется также и для рабочего заземления.

Искусственный заземлитель станции и подстанции состоит из вертикальных электродов, расположенных по контуру, охватывающему всю установку (открытое и закрытое распределительные устройства, машинный зал, котельную), и горизонтальных полос. Металлический забор, ограничивающий территорию станции и подстанции, заземляться не должен во избежание выноса потенциала за территорию.

В связи с повреждением большого количества железобетонных опор и возникновением опасных значений напряжений прикосновения и шага при длительных однофазных замыканиях на ВЛ 3–35 кВ внесена рекомендация о заземлении всех типов опор ВЛ 3–35 кВ. Для линий напряжением 110 кВ и выше с металлическими и железобетонными опорами, проходящими в местах с глинистыми, суглинистыми, супесчаными и подобными грунтами и не содержащих агрессивных вод, допустимое значение сопротивления заземления может быть обеспечено использованием естественных заземлителей – железобетонных подножников опор или же их сочетанием с искусственными заземлителями.

Для искусственных заземлителей используются вертикальные и горизонтальные электроды, уложенные на глубине 0,5–1 м от поверхности земли. В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы, угловая и круглая (прутковая) сталь длиной $L = 2 \div 10$ м. Наименьшие поперечные размеры допускаются следующие: у круглых электродов диаметр $d_0 = 6$ мм, толщина полок угловой стали $b = 4$ мм и толщина стенок стальных труб $b = 3,5$ мм.

Наименьшие поперечные размеры электродов диктуются необходимостью надежной работы заземлителя при коррозии и могут быть увеличены из условий достаточной прочности при погружении их в грунт.

Горизонтальные полосовые заземлители в виде лучей, колец или контуров используются как самостоятельные заземлители или как элементы сложного заземлителя из горизонтальных и вертикальных электродов. Для горизонтальных заземлителей применяется

полосовая сталь сечением не менее 48 мм^2 и толщиной 4 мм и круглая сталь с диаметром не менее 10 мм.

Для анализа грозоупорности подстанции и сопоставления потенциала на заземлителе с импульсным испытательным напряжением изоляции оборудования имеют значение как напряжение на заземлителе u_I в момент максимума импульса тока I с заданной длительностью фронта τ_ϕ , так и максимальное напряжение на заземлителе U с фронтом импульса напряжения τ_U , длительность которого меньше τ_ϕ .

При протекании импульсного тока по заземлителю в первые моменты времени после начала его протекания индуктивность препятствует проникновению тока к удаленным участкам заземлителя, и они слабо участвуют в отводе тока в землю. Постепенно распределение напряжения вдоль заземлителя выравнивается и сопротивление его уменьшается, стремясь к своему предельному значению $R = 1 / g \cdot l$.

Различают стационарное сопротивление R , характерное для рабочих и защитных заземлений, отводящих ток 50 Гц, когда индуктивность, емкость, а также искровые процессы в земле не имеют существенного значения, импульсное сопротивление заземлителя $Z_{и}$, характерное для заземлителей грозозащиты, которое определяется как импульсным характером тока, так и физико-химическими процессами и искрообразованием в грунте. Импульсное сопротивление заземлителя подстанции определяется отношением напряжения на заземлителе к току, стекающему с него, и изменяется во времени с момента протекания тока.

Эффективной мерой по снижению $Z_{и}$ рассматриваемого контура является уменьшение его индуктивности путем увеличения параллельных путей для растекания тока от места подсоединения к контуру молниеотвода, например при прокладке пересекающих контур полос или лучей вне контура.

Импульсное сопротивление заземлителя с сеткой зависит от места ввода тока. Заземлитель ОРУ подстанции из сетки с вертикальными электродами по контуру или без них при вводе тока в центре или на стороне контура приближенно можно рассматривать как сложный протяженный заземлитель из ряда параллельных горизонтальных полос.

Импульсное сопротивление при вводе тока в центре заземлителя будет меньше, чем при вводе тока на его стороне вследствие уменьшения индуктивности. Благодаря этому уменьшается длительность переходного процесса. Вследствие этого предпочтительнее расположение и подсоединение молниеотвода ближе к центру заземлителя или, по крайней мере, в тех местах, где обеспечено растекание тока по трем, четырем горизонтальным магистралям.

Импульсные сопротивления при вводе тока в угол или на стороне сетки увеличиваются по сравнению с вводом тока в центр сетки при уменьшении ρ и l вследствие усиления влияния индуктивности при ослаблении искровых процессов. Стационарное сопротивление заземлителя не зависит от места ввода тока, поэтому отношение импульсных сопротивлений равняется отношению импульсных коэффициентов заземлителя при различном месте ввода тока.

Литература

Рябкова Е. Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978 г. – 224 с.

УДК 621.316.99

АКТИВНАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Рылач А. В.

Научный руководитель – ассистент Бычков М. М.

Активная молниезащита – это решение в области систем внешней молниезащиты, появившееся в конце 90-х годов 20-го столетия. Активная молниезащита обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными средствами, например, такими как молниеприемная сеть, металлический молниеприемный стержень, молниеприемный трос.

В интересующем нас случае явление молнии разряд атмосферного электричества на землю вследствие роста напряженности в воздухе. Разряд происходит не мгновенно, а начинает развиваться сверху, из облака (так называемый нисходящий лидер или стример), и в определенный момент времени ему навстречу стартует восходящий лидер. В момент их встречи происходит главный разряд. Он и несет основную опасность при попадании молнии в какие-либо значимые объекты. Характеризуется главный разряд следующими основными параметрами: сила тока, форма импульса тока, длительность импульса. Соответственно, чем выше все эти параметры, тем опаснее разряд.

Систему молниезащиты можно условно поделить на две составляющие: внешнюю и внутреннюю.

Цель внутренней системы – ограничить импульсные перенапряжения, которые возникают вследствие прямых и непрямых попаданий молнии и могут причинить ущерб электрооборудованию. Внутренняя молниезащита представлена устройствами защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые устанавливаются в вводных щитах. Основную концепцию внутренней молниезащиты можно выразить следующим образом: УЗИП ограничивают уровень напряжения на электрооборудовании на безопасном уровне.

Цель внешней молниезащиты – уловить молнию и отвести её ток в землю, то есть не дать главному разряду поразить защищаемый объект. Система внешней молниезащиты состоит из нескольких элементов. Во-первых, молниеприемник (стержень, устанавливаемый выше защищаемого объекта), который улавливает молнию. Традиционный молниеприемник имеет некую, примерно коническую область защиты. После попадания молния «уходит» в землю по токоотводам, которые представляют собой стальные, медные или алюминиевые проводники. Токоотводы соединены с системой заземления, с помощью которой энергия молнии безопасно рассеивается в земле. Таким образом обеспечивается защита объекта.

Долгие годы для молниезащиты использовались традиционные стержневые и тросовые молниеприемники.

В последнее время все большую популярность завоевывают так называемые активные молниеприемники, которые не просто принимают удар молнии на себя, но и отводят ее от защищаемого объекта.

В пользу активного молниеотвода можно привести и следующие аргументы. При установке обычных систем грозозащиты дом приходится «опутывать» проводами. Если здание большое, то такое «опутывание» – дорогостоящее мероприятие, особенно, если на кровле здания в качестве молниеотвода укладывается металлическая сетка.

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 силу большей области защиты число активных молниеприемников на объект в несколько раз меньше, по сравнению числом традиционных молниеприемников. Отсюда вытекают два преимущества по отношению к традиционным систем молниезащиты.

Применение активной молниезащиты позволяет получить значительную экономию, так как при меньшем числе молниеприемников требуется меньшее число токоотводов. Таким образом, несмотря на довольно высокую стоимость самих активных молниеприемников, за счет экономии на материалах токоотводов достигается экономия на системе молниезащиты в целом. Сюда же можно отнести и растущую простоту монтажа.

Данное преимущество особенно актуально при использовании активной молниезащиты в области гражданского строительства (в частности, на коттеджах), где в наш век дизайна владелец недвижимости предъявляет самые высокие требования к внешнему виду здания. Преимущество объясняется просто: меньшее число молниеприемников и токоотводов – меньшее нарушение эстетики объекта.

Активная молниезащита была изобретена во Франции, и, как следствие, основное число производителей происходят из этой страны: Duval-Messien, Indelec. Помимо этого, на российском рынке представлена активная молниезащита Galmar, Forend, Schritec, КНГ. Во второй половине 2011 года один из лидеров мировой электротехники компания АББ представила свое решение в области активной молниезащиты – две линейки молниеприемников Pulsar и OPR.

Литература

Молниеотвод с упреждающей стримерной эмиссией [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о различном электрооборудовании. – Режим доступа: <http://www.electrika.by/component/content/article/54/111>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.316.37

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КРУЭ 500 КВ ПО СХЕМЕ 3/2 ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ЦЕПЬ

Милюткин А.В.

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

КРУЭ это небольшое и малозаметное распределительное устройство, которое полностью соответствует требованиям экологии и законам сохранения естественной природной среды.

Элегазовое комплектное распределительное устройство электроэнергии характеризуется: минимумом занимаемой площади и требований к строительной части, большими возможностями по расширению подстанции или ее модификации, высокой эксплуатационной возможностью и длительным сроком службы, малыми затратами обслуживания.

КРУЭ 500 кВ являются частью схемы выдачи электроэнергии и предназначены для приема и распределения энергии.

Основные преимущества КРУЭ – возможность создания подстанций с любой компоновкой. Экономия площадей и объемов. Низкая чувствительность к внешним воздействиям. Высокая надежность, большой срок службы и высокая эксплуатационная готовность. При заземлении металлических корпусов всех элементов КРУЭ обеспечивается максимально возможная степень безопасности обслуживающего персонала. Сравнительно низкий вес. Уменьшение объема и возможность быстрого выполнения строительно-монтажных работ. Малые габариты ячеек КРУЭ снижают объемы занимаемых помещений. Поставка ячеек в сборе всех ее элементов сокращает объем строительно-монтажных работ, позволяя сократить сроки ввода подстанций с КРУЭ в эксплуатацию. Высокая сейсмостойкость. Низкое расположение центра тяжести КРУЭ, а также специальные меры повышения сейсмостойкости, например, оптимальное размещение аппаратов и элементов конструкции, монолитный фундамент и прочные опоры, позволяет КРУЭ выдерживать высокие сейсмические нагрузки, практически не получая повреждений.

В состав элегазового электротехнического оборудования входят комплекс аппаратов, составляющих комплектные распределительные устройства (КРУЭ), протяженные изолированные шинопроводы и отдельные аппараты: выключатели, измерительные трансформаторы, выполняющие свои функции в составе традиционных электроэнергетических предприятий.

КРУЭ представляют собой единую герметизированную, трехфазную конструкцию со встроенными высоковольтными выключателями, измерительными трансформаторами тока, трансформаторами напряжения, разъединителями, заземлителями, а также ограничителями перенапряжений.

Трансформатор напряжения предназначен для измерения напряжения на сборных шинах. К его вторичным обмоткам подключаются измерительные приборы, счетчики и устройства релейной защиты и автоматики. Применение трансформатора напряжения позволяет изолировать низковольтные логические цепи защиты и измерительные цепи от высокого напряжения, что в свою очередь позволяет использовать более дешёвое оборудование в низковольтных сетях и удешевляет их изоляцию. Так как трансформатор напряжения не предназначен для перетока через него потоков мощностей, основной режим работы трансформатора напряжения – режим холостого хода.

Трансформатор напряжения типа ЗНОГ (заземляемый, однофазный, с газовой изоляцией) имеет шихтованный стержневой магнитопровод. На нем намотаны три обмотки: одна первичная и две вторичных – основная и дополнительная.

Корпус в отличие от других элементов ячеек изготавливается стальным с мембраной для выпуска элегаза при резком повышении давления в случае внутреннего пробоя.

С одной стороны, в корпус вмонтирован дисковый эпоксидный изолятор, а с противоположной стороны расположена клеммная коробка выводов вторичных обмоток.

Для закачки элегаза предусмотрен вентиль. Для выравнивания электрического поля острые края внутренних изделий конструкции прикрыты экраном.

При монтаже ЗНОГ герметично с помощью резинового уплотнения присоединяется с помощью розеток через промежуточный элемент к фазе сборной шины.

Трансформаторы тока имеют своим назначением измерение тока ячейки. К их вторичным обмоткам подключаются измерительные приборы, счетчики электроэнергии и устройства релейной защиты и автоматики.

Во всех конструкциях токоведущий стержень, входящий в розеточные контакты элементов полюса ячейки, выполняет роль первичной обмотки.

На отдельный фазный магнитопровод наматываются вторичные обмотки: одна измерительная для подключения измерительных приборов и счетчиков электроэнергии и четыре – для подключения релейной защиты и устройств автоматики. В ячейках трансформаторы тока устанавливаются по два на полюс одинаковой мощности.

Основное назначение ограничителей перенапряжения является защита элегазового оборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

Ограничитель перенапряжений представляет собой резервуар, заполненный внутри элегазом, в котором установлены блоки нелинейных оксидно-цинковых резисторов. Каждый блок имеет защитный экран. Блоки собираются в виде колонны на стягивающей натяжными гайками изоляционной тяге. Высоковольтный ввод снабжен розеточным контактом. Для выравнивания электрического поля применены электростатические экраны. Электрическое соединение в колонне выполнено с помощью армированных в эпоксидных блоках токоведущих элементов, включающих входной и выходной электроды и проводники.

Элегазовая ячейка состоит из полостей, заполняемых элегазом под различным давлением: выключатель, измерительные трансформаторы, разъединители и заземлители. Разъединители имеют электродвигательные приводы, а выключатель снабжен пневмоприводом.

В распределительных устройствах 550 кВ применяется схема с двумя системами шин и тремя выключателями на два присоединения.

Как следует из схемы на шесть присоединений необходимо иметь в этой схеме 9 выключателей, т.е. на каждое присоединение приходится полтора выключателя (поэтому схема носит название «полуторной» или «3/2 выключателя на цепь»).

Достоинства схемы: высокая надежность и гибкость, при ревизии любого выключателя все присоединения остаются в работе, схема позволяет производить опробование выключателей в рабочем режиме без операций разъединителями, количество необходимых операций разъединителями в течение года для вывода в ревизию поочередно всех выключателей, разъединителей и сборных шин в этой схеме значительно меньше, чем в схеме с двумя рабочими и обходной системами шин.

Недостатки схемы, отключение КЗ на линии двумя выключателями, что увеличивает количество ревизий выключателя, удорожание конструкций РУ в связи с увеличением числа выключателей, особенно при нечетном числе присоединений, так как каждая цепь должна присоединяться через два выключателя, снижение надежности схемы, если количество линий не соответствует числу трансформаторов. В этом случае к одной цепочке из 3 выключателей присоединяется две линии, поэтому возможно аварийное отключение одновременно двух линий, номинальный ток выключателей определяется режимом ремонта одного из выключателей, когда по смежному с ремонтируемым выключателю может протекать ток двух присоединений, усложнение релейной защиты, увеличение количества выключателей.

Литература

Неклепаев Б. Н., Крючков И. С. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 456 с., ил.

—

УДК 621.316.99

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Голота А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Сверхпроводимость – это способность вещества пропускать ток, не оказывая ему ни малейшего сопротивления.

Явление, заключающееся в полном исчезновении электрического сопротивления проводника при его охлаждении ниже критической температуры, было открыто в 1911 году, однако практическое использование этого явления началось в середине шестидесятых годов, после того как были разработаны сверхпроводящие материалы, пригодные для технических применений.

Сверхпроводимость – физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников), при охлаждении их ниже определенной критической температуры T_k , и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и выталкивания магнитного поля из объема образца.

Основой для открытия явления сверхпроводимости стало развитие технологий охлаждения материалов до сверхнизких температур. В 1877 году французский инженер Луи Кайете и швейцарский физик Рауль Пикте независимо друг от друга охладили кислород до жидкого состояния. В 1883 году Зигмунт Врублевски и Кароль Ольшевски выполнили сжижение азота. В 1898 году Джеймсу Дьюару удалось получить и жидкий водород. В 1911 году голландский физик Х. Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников, критическая температура которых с запасом превышает температуру кипения жидкого азота, принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладагента и затраты на поддержание необходимой температуры снижаются в 50-100 раз. Кроме того, открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) сняло теоретический запрет на дальнейшее повышение критической температуры с 30 вплоть до комнатной.

Сверхпроводимость исчезает под действием следующих факторов: повышение температуры, действие достаточно сильного магнитного поля, достаточно большая плотность тока в образце, изменение внешнего давления.

В 1913г. немецкие физики Мейснер и Оксенфельд решили экспериментально проверить, как именно распределяется магнитное поле вокруг сверхпроводника. Результат оказался неожиданным. Независимо от условий проведения эксперимента магнитное поле внутрь проводника не проникало. Поразительный факт заключался в том, что сверхпроводник, охлажденный ниже критической температуры в постоянном магнитном поле, самопроизвольно выталкивает это поле из своего объема, переходя в состояние, при котором магнитная индукция $B = 0$, т.е. состояние идеального диамагнетизма.

Бардин, Купер и Шриффер в 1957г. построили долгожданную микроскопическую теория сверхпроводимости. Эта теория, известная сегодня под названием «теория БКШ», не только позволила с уверенностью сказать, что механизм сверхпроводимости действительно ясен, но и впервые привела к установлению связи между критической температурой T_k и параметрами металлов.

Каждый электрон несет с собой определенное количество энергии, которая измеряется в электрон-вольтах, это внесистемная единица измерения, но используется в атомной и ядерной физике, в физике элементарных частиц и в других близких областях науки. Запрещенная зона – область значений энергии, которыми не может обладать электрон в идеальном кристалле. То есть, это такая зона, через которую не может проходить электрон, иначе ему придется находиться между валентной зоной и зоной проводимости.

Наличие энергетической щели в электронном спектре считалось характерным признаком сверхпроводимости без энергетической щели – бесщелевая сверхпроводимость. Существование щели само по себе вовсе не является обязательным условием проявления сверхпроводящего состояния. Тем более что бесщелевая сверхпроводимость, как оказалось явление не столь уж и редкое. Главное – это наличие связанного электронного состояния – куперовской пары. Именно это состояние может проявлять сверхпроводящие свойства и в отсутствии энергетической щели.

Эффект Джозефсона – явление протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника. Такой ток называют джозефсоновским током, а такое соединение сверхпроводников – джозефсоновским контактом.

Существует несколько критериев для классификации сверхпроводников: по отклику на магнитное поле (сверхпроводники I и II рода), по их критической температуре (низкотемпературные и высокотемпературные), по материалу (чистый химический элемент, сплавы, керамика и органические сверхпроводники).

Преимущества высокотемпературных сверхпроводников: резкое снижение затрат на охлаждение, высокое значение критических параметров, повышение стабильности

Сверхпроводимость может использоваться в самых разных сферах. Впервые она была применена при создании магнитов с высокими полями. С помощью сверхпроводников может быть обеспечена магнитная левитация, позволяющая высокоскоростным поездам двигаться плавно, без шума и трения. Создаются ВТСП электродвигатели для судов и промышленности, которые обладают существенно меньшими массогабаритными параметрами при равной мощности. Сверхпроводимость интересна с точки зрения микроэлектроники и компьютерной техники. Низкотемпературные сверхпроводники применяются в медицинских диагностических аппаратах (томографах), и даже в таких проектах, как большой адронный коллайдер и международный термоядерный реактор.

Одно из самых очевидных применений сверхпроводников связано с передачей электроэнергии. ВТСП кабели могут передавать значительную мощность при минимальном сечении, то есть обладают пропускной способностью другого порядка, нежели традиционные кабели. При прохождении тока через сверхпроводник не выделяется тепло, и практически отсутствуют потери, то есть решается главная проблема распределительных сетей.

Для существенного увеличения пропускной способности линий электропередач можно использовать сверхпроводящие кабели. Используя такой кабель, можно получить ряд преимуществ: повышенная пожарная безопасность, снижение потерь, увеличение удельной мощности, высокая плотность потребления; ветвление электрических сетей.

Применение высокотемпературной сверхпроводящей линии дает ощутимые преимущества: защита от каскадных отключений, возможность регулирования потока мощности. Высокотемпературные сверхпроводящие линии тока имеют возможность значительно снизить нагрузки на параллельных и резервных линиях, из-за своей способности пропускания большой мощности. И это одно из главных преимуществ такой системы, ввиду того, что проблема увеличения токов к.з. является весьма важной в крупных городах.

Литература

Лутинов В. С. Физические основы сверхпроводимости. Учебное пособие для вузов – М.: Высш. шк., 1989.

УДК 621.316.99

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ковалевский К.В.

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

Заземлением какой-либо части электрической установки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством с целью сохранения на ней достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или ее элементов. Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты.

Наличие в эксплуатации большого числа трансформаторов, изоляция которых ухудшена, требует четкой оценки ее состояния до вывода в капитальный ремонт. Такая оценка является целью разработок во многих странах мира методов контроля состояния изоляции трансформаторов, позволяющих определить возможность их дальнейшей работы и ее остаточный ресурс.

Среди причин повреждения изоляции немалую долю занимает увлажнение. Оно не только снижает электрическую прочность изоляции, но и сильно ускоряет процесс старения. Так как непосредственное определение степени старения изоляции при эксплуатации трансформатора затруднительно, общепринятым методом оценки состояния изоляции в работе является определение содержания в ней влаги.

Высокой чувствительностью к наличию влаги в изоляции обладают методы, использующие анализ поляризационных (абсорбционных) явлений в ней. Эти явления проявляются при перераспределении зарядов при изменении приложенного к изоляции напряжения. Оценка увлажненности изоляции с помощью анализа поляризационных процессов основана на выявлении неоднородности ее структуры из-за включений влаги.

Наиболее наглядно электрические свойства неоднородной изоляции представляет схема замещения Максвелла, состоящая из включенных параллельно, так называемой, геометрической емкости (определяемой размерами, конфигурацией изоляции, ее диэлектрической постоянной), не зависящей от неоднородностей, и абсорбционной емкости, состоящей из бесконечного ряда параллельно включенных RC-цепочек, представляющих совокупность взаимных емкостей и сопротивлений утечки неоднородных включений.

Принципиальная возможность оценки даже небольшой увлажненности изоляции на основе анализа поляризационных процессов стимулировала активные разработки таких методов контроля влажности, в том числе проводимых за рубежом в последнее время. Несколько примеров, основных применяемых метода контроля: измерение восстанавливающегося на изоляции напряжения после ее заряда и кратковременного разряда, анализ кривых тока заряда и разряда изоляции и анализ зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции от частоты, на которой проводятся измерения.

В настоящее время в разных странах проводятся разработки методов контроля состояния изоляции на основе анализа поляризационных процессов – измерения восстанавливающегося напряжения (RVM), токов заряда и разряда (РОС), параметров изоляции на переменном токе – емкости или тангенса угла диэлектрических потерь (FDS).

Чувствительными к увлажнению изоляции и удобными на практике являются измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости на очень низких частотах (разработанный в самое последнее время метод FDS).

Литература

Houhannesian V. D., Zaengl W. Диагностика силовых трансформаторов. Поляризационные процессы в изоляции. – Bulletin SEV / VSE, 1996, № 23.

УДК 621.316.99

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ АППАРАТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Гапанович А. В.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А. А.

В наше время информация становится важным составляющим элементом всех сфер жизни. Развитие компьютеров и информационных технологий как средств, методов и инструментов обработки информации привело к увеличению технической оснащенности современных промышленных предприятий, увеличение мощности оборудования, усложнение производственных процессов. Всё это объясняет необходимость повышения качества управления технологическими процессами.

При переходе к модернизации компаний, генерирующих электрическую энергию, возникает острая нужда в разработке высокотехнологических информационных решений. Ведь при обновлении оборудования происходит повышение степени его надежной работы, большая экономия топлива, а также уменьшается расход ресурсов на его обслуживание. Поэтому эксперты говорят о необходимости глобального внедрения инновационных технологий в энергетическую сферу.

Применение самых новых технологий электрогенерирующими компаниями позволяет повысить результаты работы, обеспечить стабильность процессов и работы оборудования, а так же повысить генерируемые мощности.

Электроэнергетика, без всяких сомнений, является приоритетной отраслью экономики современных развитых стран, от надежного и эффективного функционирования которой зависят условия жизни их граждан.

Сегодня проводятся масштабные реформы в этой области, направленные на формирование полноценного конкурентного оптового рынка и розничных рынков электроэнергии. В частности, предусмотрено разделение бизнесов генерации, передачи и сбыта электроэнергии, а также вспомогательных производств, создание инфраструктуры этих рынков, включающей системных операторов, администраторов торговой системы, федеральную и региональные сетевые компании.

Сохранение качества и надежности электроснабжения потребителей в рамках новой структуры единой энергетической системы требует организации четкого оперативно-информационного взаимодействия между субъектами рынка и выполнения каждым из них определенных специфических функций и обязанностей. Кроме того, перспектива вхождения в европейскую, а впоследствии и в мировую энергетическую систему зависит от повышения качества и эффективности функционирования практически всех систем автоматического и автоматизированного управления в электроэнергетике. Таким образом, уже на начальном этапе формирования этого рынка необходимо обеспечить опережающее развитие технических и программных средств, способных удовлетворить рост информационных запросов его участников. Очевидно, что сегодня это невозможно без использования новейших компьютерных и информационных технологий, внедрения современного оборудования практически на всех уровнях систем диспетчерского и технологического управления.

В числе первых разработок «РТСофт» на базе технологий Kontron - многофункциональный телемеханический комплекс SMART, предназначенный для создания распределенных систем сбора и передачи информации на энергетических объектах (тепловые и гидростанции, распределительные подстанции различного класса напряжения). В состав ПТК входят четыре основных компонента: телемеханический терминал SMART-КП, коммуникационный сервер «Интегратор», центральная приемопередающая станция (ЦПС) и автоматизированные рабочие места (АРМ) оперативного персонала. Типовая

структурная схема комплекса представлена на рисунке 1. Сбор и передача данных о работе и состоянии технологического оборудования объекта производятся телемеханическими терминалами SMART-КП, распределенными по отдельным технологическим участкам. «Интегратор» играет роль локального сервера системы, обеспечивающего такие функции, как коррекция системного времени, сбор информации, архивирование, интерфейс к рабочим местам, взаимодействие с другими подсистемами энергообъекта. АРМ базируются на стандартных персональных компьютерах офисного или промышленного исполнения со специализированным программным пакетом InTouch фирмы Wonderware (США) для визуализации технологического процесса.

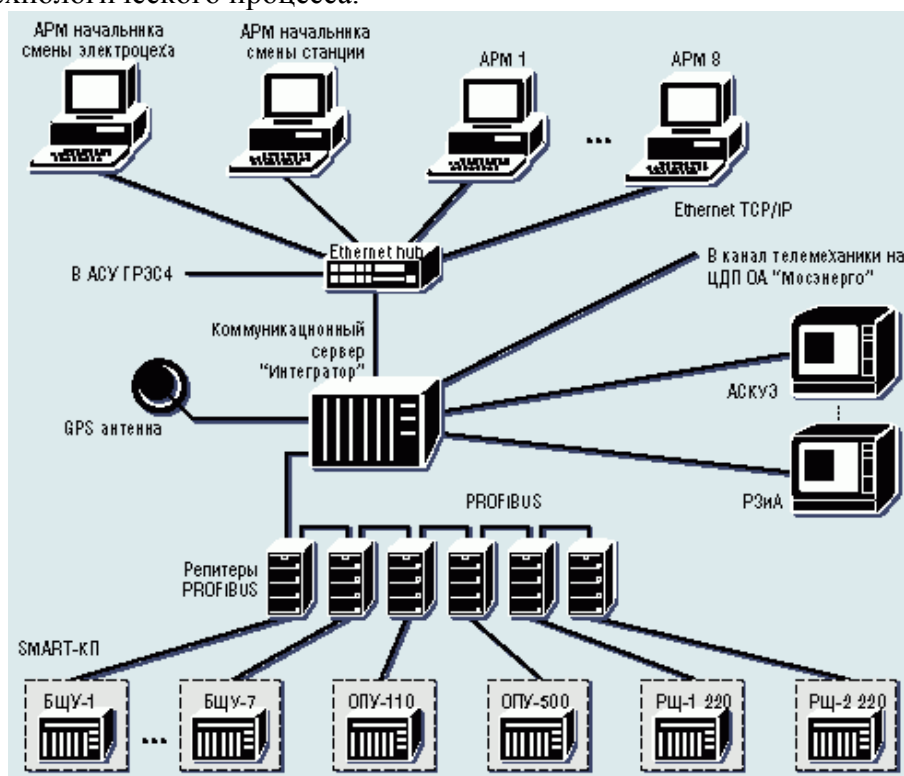


Рисунок 1 - Структурная схема многофункционального комплекса SMART

Все компоненты телемеханического комплекса, рассчитанные на работу в жестких условиях промышленного объекта (электромагнитные помехи, повышенная температура окружающего воздуха, вибрация, запыленность и др.), построены на основе процессорной платформы Motorola и многозадачной операционной системы реального времени (ОСРВ). ЦППС, предназначенные для работы в диспетчерских пунктах энергосистем, обеспечивают прием, обработку и представление оперативному персоналу технологической информации, получаемой по каналам связи от локальных систем сбора и передачи данных на объектах, входящих в состав энергосистемы.

В заключение хотелось бы отметить, что область применения компьютерных технологий в электроэнергетике огромна, мы рассмотрели только некоторые примеры их использования, в основном на самой нижней ступени информационной структуры, т. е. на объектном уровне. Между тем сегодня очень большой интерес проявляется к информационным технологиям, позволяющим оптимизировать технологические процессы генерации, распределения и потребления электрической энергии с целью снижения потерь, увлечения рентабельности, повышения отдачи основных фондов, улучшения финансовых показателей предприятия и др.

Литература

Чунихин А. А., Жаворонков М. А. Аппараты высокого напряжения: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

УДК 621.313.126

АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ ТИРИСТОРНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шеметовец Е.В.

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

Бесщеточная система возбуждения – система возбуждения турбогенератора (гидрогенератора, синхронного компенсатора), в которой передача энергии от возбудителя к обмотке возбуждения синхронной машины осуществляется без посредства скользящего щеточного контакта

Бесщеточная систем используется для возбуждения синхронных компенсаторов мощностью 50 МВА и более и турбогенераторов мощностью 1000 МВт и более.

Бесщеточные системы могут быть двух исполнений: положительными и реверсивными.

Достоинством бесщеточной системы возбуждения является отсутствие коллекторов, контактных колец и щеток, благодаря чему значительно повышается надежность ее работы и облегчается эксплуатация. Недостатком этой системы возбуждения является необходимость останова машины для подключения резервного возбуждения и замены вышедших из строя выпрямителей и перегоревших предохранителей.

В бесщеточной системе в качестве возбудителя применяют обращенный синхронный генератор переменного тока, сочлененный с валом главного генератора. Обмотка возбуждения возбудителя размещена на статоре, а на роторе – трехфазная или многофазная обмотка переменного тока.

Принцип действия бесщеточной системы возбуждения заключается в следующем. При пуске машины обмотка возбуждения в зависимости от знака переменного напряжения, наводимого на ее зажимах, замыкается либо через неуправляемые вентили и якорную обмотку возбуждения, либо через пусковой тиристор, разрядное сопротивление обмотки якоря возбудителя. По окончании пуска тиристор закрывается, и после подачи сигнала управления на тиристор управляемого преобразователя синхронный возбудитель возбуждается.

Основным силовым звеном бесщеточной системы возбуждения является возбудитель переменного тока, состоящий из обращенного синхронного генератора и вращающегося выпрямителя. Как правило, нагрузкой преобразователей в этих случаях являются обмотки возбуждения электрических машин с большой индуктивностью.

Тиристорные системы возбуждения должны предусматривать возможность гашения поля генераторов и синхронных компенсаторов переводом преобразователя в инверторный режим.

Тиристорная система возбуждения и бесщеточная диодная с постоянной времени 0.5 с при кратности форсирования возбуждения имеют приблизительно одинаковое влияние на статическую и динамическую устойчивость энергосистемы.

Для управления тиристорными системами возбуждения существуют цифровые и цифроаналоговые системы. Такие системы позволяют повысить быстродействие регулятора, а также осуществить комплексное автоматическое управление агрегатом в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах. На базе цифровых систем изготавливаются регуляторы сильного действия, обеспечивающие практически постоянное напряжение на зажимах генератора.

Промышленные тиристорные системы возбуждения универсальны, но имеют высокие массогабаритные показатели. Работа электродвигателей в тяжелых климатических условиях и в условиях, оказывающих неблагоприятное воздействие на электрическую изоляцию, предъявляют повышенные требования к релейной защите.

Для турбогенераторов мощностью 500 МВт применяется независимая тиристорная система возбуждения с питанием обмотки ротора от вспомогательного синхронного

трехфазного генератора, с преобразователем переменного тока в постоянный с помощью статических тиристорных преобразователей.

Для турбогенераторов мощностью 160 – 800 МВт применяется тиристорная система независимого возбуждения. В качестве возбудителя. Используются синхронные трехфазные генераторы переменного тока. Генераторы имеют замкнутую воздушную вентиляцию, воздух охлаждается охладителями, встроенными в корпус статора. Возбудители имеют два стояковых подшипника скольжения с принудительной смазкой. Возбуждение регулируется автоматическим регулятором.

Использование явления сверхпроводимости может представлять определенный интерес для бесщеточных тиристорных систем возбуждения обычных турбогенераторов большой мощности. В данном случае прочность листовая электротехнической стали ограничивает размеры якоря, а, следовательно, и мощность обращенной синхронной машины. Применение сверхпроводящей обмотки позволяет для данной мощности снизить габариты возбудителя или при заданных габаритах существенно увеличить его мощность. Для тиристорного преобразователя необходимо приблизительное поддержание напряжения возбудителя. Сверхпроводящая обмотка возбуждения обеспечивает постоянство магнитного потока, в результате чего напряжение якоря будет приблизительно неизменным.

При электромашинных системах возбуждения кратность потолка напряжения возбуждения обычно соответствует кратности потолка тока ротора. При тиристорных системах возбуждения легко достигается четырехкратный (и более) потолок напряжения возбуждения, что позволяет ускорять нарастание тока ротора до двукратного значения, после чего вступает в действие устройство ограничения форсировки указанным значением.

Литература

Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 551 с., ил.

Глебов И. А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин
Л.: Наука, 1987. – 344 с., ил.

УДК 621.316.99

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ MTS

Емелина А.С.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Компактные трансформаторы *MTS*, с ферромагнитной обмоткой, совмещающей функции центрального сердечника, пока непривычны, поэтому у специалистов возникают вопросы: каковы нагрузочная способность трансформатора, электродинамические усилия между его частями, излучения помех. В процессе создания новых электромагнитных устройств и систем у многих специалистов накапливаются собственные, часто применяемые лаконичные методы расчетов и описания явлений, универсальные технические и технологические решения, которые обеспечивают разной степени удобства в работе, сокращают сроки и повышают качество ее выполнения. Обмен такой статистической информацией между специалистами важен, так как позволяет уменьшить количество собственных экспериментов и расчетов, снижает уровень погрешностей и количество дорогостоящих ошибок. Для описания новой конструкции трансформатора в данной статье использованы собственные краткие трактовки, которые, может быть, понравятся электротехникам, несмотря на то, что для последовательного изложения пришлось также кратко повторить общеизвестные истины. Здесь рассмотрим только синусоидальные напряжения и токи, так как напряжения и токи с другими временными диаграммами можно свести к сумме синусоидальных. В формулах используем систему единиц измерений СИ.

Научные и практические результаты исследования можно сформулировать в виде следующих выводов:

1. Выполнен анализ повреждаемости силовых трансформаторов в системах электроснабжения потребителей резкопеременных нагрузок. Установлено, что аварийность трансформаторов при резкопеременных нагрузках на 70 % выше, чем у таких же трансформаторов, работающих в системах общего назначения.

2. В системах электроснабжения резкопеременных потребителей работают трансформаторы общего назначения, которые не рассчитаны на такой характер нагрузки. В этой связи в диссертации разработаны технические требования к трансформаторам, предназначенным для питания резкопеременных пирометаллургических установок типа дуговой сталеплавильной печи.

3. С помощью разработанных устройств и методик экспериментального исследования мгновенных параметров выявлено, что нестационарные эксплуатационные режимы трансформаторов имеют сложный, вероятностный характер, где имеют место: несинусоидальность тока со сложным гармоническим составом, включая пульсацию отдельных полупериодов; несимметрия нагрузки по фазам (при коэффициенте несимметрии до 30%), включая чередующиеся и изменяющиеся с модулированной частотой 10 Гц; превышения номинального тока в отдельных фазах до 2,6; наличие технологических коротких замыканий кратностью до 3,2 в количестве до 5 за один технологический цикл; перенапряжения кратностью до 10, вызванные спецификой коммутационной аппаратуры.

4. С учетом резкопеременного характера нагрузки исследованы системы прессовки и подпрессовки обмоток силовых трансформаторов. На основании результатов предложена комбинированная система прессовки с одновременной подпрессовкой в процессе эксплуатации с элементами тарельчатого типа и сплавов с памятью.

Литература

1 Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы. – Москва: Компоненты и технологии, 2006 – 254 с.

2 Казаков В. В. Ещё раз о преимуществах трансформаторов *MTS*. – Москва: Компоненты и технологии, 2006 – 358 с.

- 3 Немцев Г. И., Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы. – Чувашская Республика: Академия электротехнических наук Чувашской Республики, 2006 – 210 с.
- 4 Тамм И. Е. Основы теории электричества. – Москва: Наука, 1976 – 550 с.

УДК 621.316.99

РАЗНОВИДНОСТИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КРУЭ

Воропай М. В.

Научный руководитель – Климентионук А.К.

В связи с ростом городов, укрупнением промышленных предприятий и широкой автоматизацией производственных процессов резко возрастает потребление электроэнергии. При этом возникает необходимость максимального приближения линий 110, 220 и 330 кВ к потребителям. При таких напряжениях допустимые изоляционные расстояния в воздухе между токоведущими частями РУ очень велики. Это приводит к резкому увеличению габаритов как самих РУ, так и зданий и площадей для их установки. Существующие открытые РУ создают большие радиопомехи и звуковые эффекты (выстрелы), связанные с работой воздушных выключателей.

Выходом из этого положения является создание РУ, в которых изоляция осуществляется твердыми и жидкими изоляционными материалами или газами под повышенным давлением. Твердая изоляция распространения не получила по причине того, что надежную изоляцию при переходе от одного элемента РУ к другому трудно обеспечить. Минеральное масло из-за пожароопасности и взрывоопасности не применяется. Другие жидкости (негорючие хлорированные масла) дороги, выделяют хлор. Поэтому наиболее подходящими являются воздух и элегаз. Первый требует высокого давления, а, следовательно, большой прочности оболочек. Поэтому элегаз нашел преимущественное применение. Площадь, занимаемая КРУ с напряжением 110, 220 кВ, может быть уменьшена в 10–15 раз за счет использования элегаза. В элегазовых КРУ (КРУЭ) элегаз используется и как изолирующая, и как дугогасящая среда. Заключение в металлические оболочки токоведущих цепей высокого напряжения (экранирование) резко снижает уровень радиопомех. Применение элегазовых выключателей, работающих без выброса газа в окружающую среду, делает работу КРУЭ бесшумной.

Распределительное устройство (РУ) – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики, телемеханики, связи и измерений.

Комплектное распределительное устройство, состоящее из шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами измерения, защиты и автоматики и соединительных элементов (например, токопроводов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном к сборке виде.

К преимуществам КРУЭ можно отнести:

– многофункциональность – в одном корпусе совмещены сборные шины, выключатель, разъединители с заземляющими разъединителями, трансформаторы тока, что существенно уменьшает размеры и повышает надежность ОРУ;

– взрыво- и пожаробезопасность;

– высокая надежность и стойкость к воздействию внешней среды;

– возможность установки в сейсмически активных районах и зонах с повышенной загрязненностью;

– отсутствие электрических и магнитных полей;

– безопасность и удобство эксплуатации, простота монтажа и демонтажа.

Литература

Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоиздат, 1990 г. – 551 с., ил.

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Комиссаров М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Вейвлеты относительно независимо были предложены в квантовой физике, физике электромагнитных явлений, математике, электронике и сейсмогеологии. Междисциплинарные исследования привели к новым приложениям данных методов, в частности, в сжатии образов для архивов и телекоммуникаций, в исследованиях турбулентности, в физиологии зрительной системы, в анализе радарных сигналов и предсказании землетрясений.

Вейвлет-анализ представляет собой особый тип линейного преобразования функций из некоторого достаточно широкого класса. Базис собственных функций, по которому проводится разложение, обладает многими специальными свойствами. Правильное применение этих свойств позволяет исследователю сконцентрировать внимание на тех или иных особенностях анализируемого процесса, которые не могут быть выявлены с помощью традиционно применяемых преобразований Фурье и Лапласа.

Вейвлет-преобразование имеет много общего с преобразованием Фурье. В то же время имеется ряд существенных отличий.

Вейвлет-анализ по существу представляет собой семейство функций, реализующих различные варианты соотношения неопределенности и предоставляющих исследователю возможность гибкого выбора между ними. Фурье-анализ и его модификации (дискретное косинусное преобразование и прочие) такими свойствами не обладают.

Большинство ограничений, накладываемых на вейвлет, связано с необходимостью иметь обратное преобразование. Основные ограничения:

- локализация;
- ограниченность;
- нулевое среднее;
- автомодельность базиса.

При локализации вейвлет-преобразование использует базисную функцию, локализованную в пространстве времен и частот. Функции, не стремящиеся к нулю за пределами некоторой ограниченной окрестности, не могут являться вейвлетами.

Для очистки сигнала от шума применяется последовательно:

- прямое вейвлет-преобразование;
- зануление незначимых коэффициентов преобразования с порогом, пропорциональным амплитуде шума;
- обратное вейвлет-преобразование.

Пороговое обрезание коэффициентов вейвлет-преобразования не влияет на структуру сигнала, сильно понижая шум. Вейвлет-преобразование близко к «идеальному» проектору, сохраняющему те и только те коэффициенты, для которых сигнал превышает шум.

Огромное значение имеет задача разработки приложений, использующих вейвлет-анализ – как в перечисленных областях, так и во многих других, перечислить которые просто не представляется возможным.

Коэффициенты вейвлет-преобразований используются для построения статистических моделей турбулентности.

Приложения методов глубокой компрессии и качественного восстановления сигналов при помощи вейвлет-преобразований охватывают не только область телекоммуникаций, но и емких архивов видео и телеинформации.

УДК 621.316.99

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ ЗОН МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Яблонский О. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А.А.

Молниезащита – это система мер по предотвращению и нейтрализации опасных проявлений атмосферного электричества, которые защищают здания, сооружения, материалы от пожаров, взрывов и разрушений. К частям, подлежащим заземлению, относятся металлические части оборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Наиболее опасным является прямой удар молнии, так как при этом происходит непосредственный контакт молнии с объектом, в результате индукции возникают токи высокого напряжения на металлических с изолированных от земли предметах. Это приводит к искрению между ними и заземленными металлическими элементами конструкций и оборудования.

От прямых ударов молнии сооружения защищают молниеотводами, которые воспринимают молнию и отводят ее ток в землю. Молниеотвод состоит из трех частей: молниеприемника, токоотвода и с заземлителя.

Значение импульсного сопротивления заземления должно быть не более 10 Ом. Для защиты от индукции все расположено горизонтально, металлическое оборудование соединяют между собой так, чтобы оно представляло собой единую и непрерывную электрическую цепь, заземляют в нескольких местах. Объекты и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности, грозовой деятельности, а также, от ожидаемого количества поражений молнией в год, должны быть защищены в соответствии с категорией ул. обустройство молниезащиты и типа зоны защиты (А или Б). Молниезащита объектов первой категории и складов взрывчатых материалов должна устраиваться с типом зоны защиты А, независимо от грозовой активности. Зона защиты – это часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности.

Программный комплекс Model Studio CS Молниезащита предназначен для расчета и трехмерного интерактивного проектирования молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий. Помимо решения задач молниезащиты, программа позволяет выполнять компоновку всего объекта: в этом приложении доступен весь инструментарий Model Studio CS для трехмерного проектирования.

Model Studio CS Молниезащита - многофункциональная программа для расчета и трехмерного интерактивного проектирования молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий. База данных оборудования, изделий и материалов встроена в среду проектирования и не требует вызова дополнительного программного обеспечения. Model Studio CS Молниезащита содержит все инструменты, необходимые для работы с базой: поиск (простой или сопровождающийся предварительно заданными условиями), работа с предопределенными выборками и классификаторами.

Программа Model Studio CS Молниезащита работает в среде AutoCAD версий от 2007 до 2010, а также программных средств, в состав которых AutoCAD включен: AutoCAD Architecture, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD MEP. Model Studio CS Молниезащита значительно расширяет возможности платформы AutoCAD, делая работу инженера более комфортной и эффективной. Данная программа позволяет решать следующие задачи: компоновочное решение объекта, требующего молниезащиты; построение горизонтального сечения зон молниезащиты на заданной высоте; формирование и выпуск полного комплекта проектной документации; табличная проектная документация с рамками, штампами, эмблемами и другими элементами (в форматах Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD, адаптируемых

под стандарт проектной организации).

При размещении молниеприемника, взятого из базы данных или со-зданного с помощью специализированной команды, зона молниезащиты автоматически строится по правилам, сформулированным в нормативных документах. Выбор зон защиты ведется в строгом соответствии с положениями действующих норм и стандартов. Для удобства работы с моделью предусмотрен виртуальный спецификатор – всегда доступное для просмотра специальное диалоговое окно, где состав модели отображается в виде таблицы заданной формы (при необходимости пользователь программы Model Studio CS Молниезащита может задать собственный вариант таблицы).

Комплекс Model Studio CS Молниезащита позволяет нажатием одной кнопки формировать спецификации, экспликации, ведомости, сохраняя их в наиболее востребованных форматах (Microsoft Word, Microsoft Excel, RTF), а также непосредственно на чертеже в AutoCAD (DWG).

Литература

Построение зон молниезащиты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru>, свободный.– Загл. с экрана.

УДК 621.3.022

ТЕРМИНАЛЫ ДУГОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Масюкевич С.В., Мельник Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Цель дуговой защиты определить дуговое замыкание и минимизировать время горения дуги, защищая тем самым людей и оборудование.

Дуговая защита шин применяется для защиты сборных шин и элементов ошиновки распределительных устройств 6–10 кВ, размещенных в закрытых отсеках (КРУ или КРУН).

Для исключения ложного срабатывания защиты при случайном открытии люка или при вспышке света, не связанной с появлением дуги, применяется блокировка защиты по току питающих элементов: ввода трансформатора и секционного выключателя.

В настоящее время ряд отечественных и зарубежных разработчиков и производителей предлагают для электроэнергетических и промышленных предприятий технические решения защиты от дуговых КЗ, реализующие в основном контроль параметров тока и светового потока.

Дуговое КЗ сопровождается как изменением параметров и характеристик электрической сети (ток, напряжение, сопротивление), так и существенным повышением температуры, давления, электропроводимости и теплового (светового) излучения внутри отсеков КРУ.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ).

Оценка чувствительности защит, использующих оптические датчики информации, показывает, что их чувствительность достаточна практически для всех типов КРУ, подключаемых к трансформаторам мощностью 2,5 МВА и выше.

Сравнение способов построения дуговых защит КРУ показывает, что наиболее перспективным с позиции получения максимального быстродействия при абсолютной селективности и минимальном количестве информационных признаков является способ контроля освещенности (светового потока) внутри отсеков.

Оптико-электрические дуговые защиты по типу используемых датчиков можно разделить на две группы: с полупроводниковыми фотодатчиками и с ВОД.

Дуговая защита КРУ должна строиться с учетом его конструктивных особенностей и типов коммутационных аппаратов.

Терминалы защиты трансформатора RET 541/543/545 предназначены для использования в распределительных сетях для защиты, управления и мониторинга двухобмоточных силовых трансформаторов и блоков генератор - трансформатор.

Микропроцессорные терминалы типа БЭ2502А02ХХ предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации секционного выключателя в сетях с напряжением 6 – 35кВ.

Терминалы защиты, автоматики и управления электродвигателем осуществляют функции трехступенчатой направленной МТЗ от междуфазных повреждений с пуском по напряжению, ЗОЗЗ, защиты от перегрева, защиты от затянутого пуска, защиты от блокировки ротора, ограничения количества пусков, минимальной токовой защиты от потери нагрузки, защиты от обратной мощности, ЗДЗ, ЗМН, ЗНР, УРОВ, АПВ выключателя, АУВ, выполнения команд внешних воздействий АЧР и ПАА.

Микропроцессорные терминалы типа БЭ2502А01ХХ предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации линии с номинальным напряжением сети 6 – 35 кВ.

MP600 – терминал защиты по напряжению и частоте.

Микропроцессорный терминал МР500 предназначен для защиты кабельных и воздушных линий электропередач напряжением 6–35 кВ, резервной защиты трансформаторов, объектов малой энергетики.

Литература

1 Нагай В.И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.

2 Нагай В.И., Сарры С.В. Определение чувствительности опико-электрических защит от дуговых коротких замыканий в комплектных распределительных устройствах напряжением 6–10 кВ // Изв. вузов. Электромеханика. – 1999. – № 1. – С. 48–51.

3 Коротков Л.В., Погодин Н.В. Быстродействующая оптическая система дуговой защиты ЗРУ 6–10 кВ // Релейная защита и автоматика энергосистем 2000: тез. докл. XIV научно-технической конференции. – М.: ЦДУ ЕЭС России, 2000. – С. 48–49.

4 Нагай В.И., Сарры С.В., Войтенко А.С. Релейная защита КРУ с контролем светового потока // Промышленная энергетика. – 2001. – № 11. – С. 32–36.

5 Нагай В.И., Сарры С.В., Войтенко А.С. Быстродействующие релейные защиты КРУ от дуговых коротких замыканий с опико-электрическими датчиками // Электрические станции. – 2002. – № 3. – С. 55–59.

УДК 621.3.022

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каченя В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Повышение технического совершенства токовых защит линий распределительных сетей обеспечивается путём введения в алгоритм её функционирования функций определения вида и места короткого замыкания, а также использованием не стандартных устройств защит.

Примером не стандартных устройств защит могут служить реле на магниточувствительных элементах, в частности на герконах. Преимуществом такого принципа выполнения защит является то, что для них не нужны трансформаторы тока, что в свою очередь несёт существенную экономию средств, а также отменяет погрешность обусловленную трансформаторами тока.

Герконы устанавливаются непосредственно возле токоведущего провода, и реагируют на магнитный поток создаваемый током текущим в проводнике. В настоящее время созданы максимальные токовые защиты с независимой от тока выдержкой времени. Однако в ряде случаев такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности.

Одним из направления совершенствования токовых защит является использование информации о месте повреждения, которая может быть получена путем анализа величины относительного значения расстояния от места установки защиты до точки повреждения. В Белорусском Национальном Техническом Университете разработан следующий алгоритм, в соответствии с формулой 1:

$$l_{k*} = \frac{(k \cdot I_{k(\text{н})}^{(3)} - I_k) \cdot I_{k(\text{к})}^{(3)}}{(I_{k(\text{н})}^{(3)} - I_{k(\text{к})}^{(3)}) \cdot I_k}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от вида повреждения; при трёхфазном КЗ $k = 1$, а при двухфазных $k = 0,5 \cdot \sqrt{3}$; $I_{k(\text{н})}^{(3)}$, $I_{k(\text{к})}^{(3)}$ – токи при трёхфазных повреждениях соответственно в начале и конце линии; I_k среднее значение из трёх или двух токов фаз для соответствующего вида КЗ.

Если $l_{k*} \leq 1$, то КЗ находится на защищаемой линии и ее можно отключать без выдержки времени. Когда $l_{k*} > 1$, то местом КЗ является смежная линия и отключение ее защитой должно производиться с выдержкой времени. Таким образом контролируя в режиме КЗ только один параметр, а именно протекающий по линии ток КЗ, вполне возможно определить место повреждения с погрешностью, абсолютное значение которой не превышает 15 %.

Также увеличить техническое совершенство токовых защит можно увеличив зону мгновенного отключения ТО для двухфазных КЗ путём выявления режимов несимметричных КЗ и изменением соответствующим образом тока срабатывания первой ступени, в соответствии с формулой 2:

$$I_{\text{сз}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кз min}}^{(2)}, \quad (2)$$

где $I_{\text{кз min}}^{(2)}$ – минимальное значение тока трехфазного КЗ; $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки.

Для реализации этого метода в Белорусском Национальном Техническом Университете разработан следующий алгоритм выявления несимметричных КЗ, в соответствии с формулой 3:

$$\Delta I = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{min}}}, \quad (3)$$

где I_{\max} – максимальное действующее значение тока; I_{\min} – минимальное действующее значение тока.

В результате исследований методом вычислительного эксперимента формула 3 позволяет чётко выявить режим двухфазных металлических КЗ как на контролируемой, так и на смежной линиях. При этом время определения вида повреждения на защищаемой линии зависит от места его возникновения и не превышает одного периода промышленной частоты.

Литература

1. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем / А. М. Федосеев. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – С. 123–124.
2. Романюк, Ф. А. Определение места повреждения на линиях напряжением 6–35 кВ / Ф. А. Романюк, М. А. Шевалдин // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2014. – № 5. – С. 5–13.
3. Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функционирования микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Е. В. Булойчик // (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – № 4. – С. 5–10.

УДК 621.316.99

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Валенто А.Е.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

В практике научных и технических расчетов встречаются задачи, требующие в качестве решения получения поля распределения в двух или трехмерном пространстве той или иной величины. Простейшим примером может служить расчет поля температур в футеровке печи. При решении данной задачи инженерными методами моделируемая область сводится простейшему объекту – участку бесконечной в двух направлениях среды со стабильными свойствами. В двумерной постановке у данной поверхности появляются края со своими граничными условиями, что заставляет перейти к двумерности в постановке задачи, и, наконец, такой сложный объект как, например, футеровка дуговой сталеплавильной печи может быть обчислен сразу, без разбиения на несколько простых объектов, только в трехмерной постановке.

Примерами задач, требующих полевого решения являются также расчет сложных гидродинамических и газодинамических явлений при обтекании воздухом крыла самолета или исследование работы лопаток турбины и гребного винта судна. Важными задачами являются расчет поля температур в работающем электрическом аппарате или электрическом двигателе, исследование индукционного нагрева деталей сложной поверхности, расчет параметров проводников коротких сетей дуговых печей, исследование, наконец, явлений, происходящих при ядерных взрывах.

Среди существующего многообразия программных продуктов предназначенных для решения полевых задач можно выделить три универсальных пакета такого рода. Во-первых, это ANSYS – один из первых пакетов конечно-элементного анализа, во-вторых, Femlab – интегрируемый в Matlab новейший пакет для решения полевых задач, и, в-третьих, Elcut – практически единственный отечественный пакет, пригодный для моделирования электротехнологических установок. Все три пакета являются универсальными (предназначены для решения различных типов полевых задач), позволяют решать линейные и нелинейные задачи, и обладают примерно одинаковой точностью и возможностями.

Среди рассматриваемых программ Elcut на первый взгляд обладает ограниченными возможностями по сравнению с другими программами. Однако некоторые ограничения достаточно легко преодолеваются. Например, Elcut не позволяет моделировать трехмерные объекты, однако существует множество объектов являющихся с точки зрения геометрии телами вращения, а осесимметричные задачи с помощью Elcut решаются и дают те же результаты, что и в трехмерной постановке. Наиболее серьезным же недостатком Elcut является то, что в этой программе на сегодняшний день отсутствует возможность одновременного решения полевых задач (например, электромагнитной и тепловой). Это не позволяет автоматически учитывать изменение свойств материалов в процессе расчета. К примеру, нельзя учесть изменение магнитной проницаемости металла при изменении его температуры. Данный недостаток можно частично преодолеть, разбив временной отрезок, на котором производится тепловой расчет, на несколько отдельных участков. На каждом из таких участков необходимо предварительно решать электромагнитную задачу с новыми значениями свойств материалов. Преимуществом же Elcut безусловно является наличие русскоязычной версии, документации на русском языке, большое количество примеров, поставляемых с программой, а также развитые возможности по обработке результатов расчета (расчет индуктивностей, емкостей, усилий и т.п.).

Пакет ANSYS обладает наибольшим числом достоинств. Это единственный пакет среди перечисленных, позволяющий моделировать переход материала из твердого состояния в жидкое и наоборот (фазовый переход). Однако сложность интерфейса программы, большое число параметров ее настройки и почти полное отсутствие учебников по программе на

русском языке затрудняют ее использование. Пакет Femlab соединяет в себе достоинства двух других пакетов. Он обладает простым и понятным интерфейсом, как Elcut, и имеет практически те же расчетные возможности, что и ANSYS. Кроме этого Femlab является инструментом (toolbox) пакета Matlab и работает под его управлением. Это означает, что все возможности программирования, доступные в Matlab, могут быть использованы и в Femlab (например, при обработке результатов расчета). Еще одним огромным достоинством Femlab является возможность экспорта конечно-элементной модели в Simulink (инструмент моделирования динамических систем, встроенный в Matlab). Это позволяет моделировать не только простейшие внешние электрические цепи, но и работу установки совместно с преобразователями электрической энергии, системами управления, исследовать частотные характеристики и устойчивость электротехнологической установки и т.п.

Литература

Молниеотвод с упреждающей стримерной эмиссией [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о различном электрооборудовании. – Режим доступа: <http://www.electrika.by/component/content/article/54/111>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.316.925

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гавриелок Ю.В., Башаркевич Я.В., Баран А.Г.
Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

В работе выполнено исследование влияния времени перерыва питания на успешность самозапуска электродвигателей 6 кВ собственных нужд Светлогорской ТЭЦ с помощью программы SAMOSAPU, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

При отключении питания напряжение на секции с неотключенными двигателями исчезает не сразу, а за счет электромагнитной и кинетической энергии, запасенной двигателями, затухает за время 1–1,5 с. Участвующие в групповом выбеге двигатели механизмов с большим моментом инерции (вентиляторы, дымососы) работают в этом случае в режиме генераторов, отдавая часть энергии двигателям механизмов с меньшим моментом инерции, работающим в двигательном режиме.

Частота затухающего напряжения при групповом выбеге по мере торможения двигателей уменьшается со скоростью примерно 4–7 Гц/с. Групповой выбег продолжается до снижения напряжения на секции до $(0,25–0,2)U_{\text{ном}}$, после чего все двигатели останавливаются. Из-за снижения частоты затухающего напряжения оно быстро отстает по фазе от напряжения сети. Уже через 0,3–0,4 с с момента отключения питания секции угол расхождения напряжения достигает 180° . При этом разность напряжений на секции и в сети может достигнуть $(1,6–1,8)U_{\text{ном}}$. При самопроизвольном или ошибочном отключении рабочего питания, а в некоторых случаях и при действии защит с малой выдержкой времени напряжение на секцию от АВР подается через 0,4–0,5 с, т. е. в момент противофазы. Несмотря на это, переходные токи в двигателях близки к нормальным пусковым токам. Это является следствием значительного падения напряжения в источнике резервного питания от одновременного самозапуска мощной группы двигателей. Поэтому повреждений двигателей при самозапуске от динамических усилий в обмотках не наблюдается.

Самозапуск двигателей до нормальной частоты вращения происходит каскадно. Первыми заканчивают разбег двигатели механизмов с легкими условиями пуска, например, циркуляционных (ЦЭН), конденсатных насосов. Благодаря снижению пусковых токов этих двигателей до номинальных напряжение на секции повышается, что облегчает разбег других двигателей: питательных насосов (ПЭН), дымососов (Д), дутьевых вентиляторов (ДВ) и т. д. Для облегчения самозапуска все неотчетственные двигатели при снижении напряжения на шинах СН до $(0,6–0,7)U_{\text{ном}}$ отключаются защитой минимального напряжения с выдержкой 0,5 с. Каскадный разбег двигателей позволяет обеспечить их самозапуск при начальном напряжении несколько ниже того, которое требуется для двигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска.

Чем более кратковременный перерыв питания, тем меньше двигатели успевают затормозиться, тем меньше их пусковые токи и больше начальное напряжение на шинах после включения резервного питания и, следовательно, тем быстрее самозапуск двигателей. Поэтому следует по возможности сокращать время действия защит и АВР на собственных нуждах. Предельно допустимая продолжительность перерыва ограничивается также режимом работы котлоагрегата. Перерыв более 3 с вызывает такое снижение частоты вращения тягодутьевых механизмов, при котором факел в топке может погаснуть. Одновременное последующее восстановление работы тягодутьевых механизмов и питателей топлива может привести к взрыву в топке котла. При перерывах питания СН на 4 с и более работа котлоагрегата нарушается, и самозапуск двигателей не только не имеет смысла, но даже и недопустим.

Для успешности самозапуска начальное напряжение на шинах СН должно быть достаточным, чтобы создать избыточный момент для разбега всех основных двигателей, а продолжительность разбега двигателей, зависящая как от начального напряжения, так и скорости его восстановления, не должна превышать предельно допустимую.

К числу основных электродвигателей на ТЭЦ относятся следующие: электродвигатели мазутных, тягодутьевых, питательных, конденсатных, циркуляционных насосов. Все они являются ответственными механизмами и требуют наличия резервного источника питания.

В результате выполнения вычислительного эксперимента с помощью компьютерной программы SAMOSAPU, установлено, что наибольший скачок тока на секции наблюдается уже при перерыве питания на 0,11 с, что является следствием снижения частоты затухающего напряжения, которое быстро отстает по фазе от напряжения сети. За это время угол расхождения напряжения достигает 180° .

Предельное время отключения для исследуемых электродвигателей составило 1,21 с. При таком перерыве питания при КЗ на секции А самозапуск электродвигателей циркуляционных насосов ЦН-2 оказывается неуспешным.

УДК 621.316.99

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ИХ КОНСТРУКЦИИ

Семёнов Н. Н.

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

Силовой кабель применяют при передаче электрической энергии в быту и на производстве от источника к приборам и оборудованию. Силовые кабели различают по конструкции, которая определяет цели и условия его использования.

Независимо от типа кабеля и сложности его строения основные элементы, которыми обладает силовой кабель – это жила, изоляция и оболочка.

Чаще всего силовой кабель служит для стационарной прокладки, когда радиус его изгиба определен, и при отсутствии значительных изгибов и смещений при его эксплуатации. Токопроводящие жилы силового кабеля имеют гибкость класса 1 или 2, и могут быть однопроволочными или состоящими из нескольких проволок. Кабели с многопроволочными жилами более гибкие, класс их гибкости 5–6.

Силовой кабель для проводки способен выдерживать напряжение до 660 В.

Изоляцию силового кабеля выполняют из таких материалов, как пропитанная кабельная бумага, резина или пластмасса. Она должна выдерживать повышенные переменные температуры, возникающие от изменяющихся нагрузок, от перегрузок и токов короткого замыкания.

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов.

Силовые кабели различают: по роду металла токопроводящих жил – кабели с алюминиевыми и медными жилами, по роду материалов, которыми изолируются токоведущие жилы, кабели с бумажной, с пластмассовой и резиновой изоляцией, по роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды – кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке, по способу от механических повреждений – бронированные и небронированные, по количеству жил – одно-, двух-, трех-, четырех- и пятижильные.

Токопроводящие жилы изготавливают из медной проволоки марок ММ (мягкая) и МТ (твердая) и алюминиевой марок АМ (мягкая), АПТ (полутвердая), АТ (твердая) и АТП (повышенной твердости).

Проволоку скручивают в стренгу (часть гибкой многопроволочной жилы, скрученная из нескольких проволок) или в жилу. При правильной скрутке проволока в жиле, в стренге, а также стренги в жиле должны прилегать друг к другу, при этом не должно быть перекрещиваний проволок или стренг, расположенных в одном повиве.

Силовые кабели удобно классифицироваться по номинальному напряжению, на которые они рассчитаны. Классификационными признаками могут служить также вид изоляции и конструктивные особенности кабелей.

Все силовые кабели по номинальному рабочему напряжению можно условно разделить на две группы. В группу низкого напряжения включены кабели, предназначенные для работы в электрических сетях с изолированной нейтралью переменного напряжения 1, 3, 6, 10, 20 и 35 кВ частотой 50 Гц. Эти же кабели могут быть использованы с заземленной нейтралью и в сетях постоянного тока. Такие кабели выпускаются с бумажной пропитанной, пластмассовой и резиновой изоляцией, причем наиболее перспективным видом изоляции является пластмассовая. Кабели с пластмассовой изоляцией более просты в изготовлении, удобны при монтаже и эксплуатации.

Маркировка силовых кабелей обычно включает буквы, обозначающие материал, из которого изготовлены жилы, изоляция, оболочка, и тип защиты покрова. Маркировка кабелей высокого напряжения отражает также особенности его конструкции.

Силовой кабель находит применение в самых разных отраслях – он задействован в схемах передачи и распределения электроэнергии при прокладке требующей повышенной надежности бытовой и промышленной проводки, включая высоковольтные линии передач.

УДК 621.316.99

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ТИПА 8DN8

Михалькевич С.И.

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

Ячейки КРУ, обладают высокой стойкостью, к дуговым воздействиям, при возникновении аварии внутри шкафа, что способствует минимизации ущерба, и надежно защищает обслуживающий персонал от воздействия электрической дуги, внутренний объем ячейки, разделен на четыре функциональных изолированных отсека, несгораемыми металлическими перегородками, которые надёжно локализуют дугу, в пределах одного отсека, три отсека имеют каналы, для организации направленного выброса газов вверх, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала.

Три отсека имеют каналы, для организации направленного выброса газов вверх, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала, в качестве дуговой защиты, в базовом исполнении применяются концевые выключатели, и клапаны сброса избыточного давления, по дополнительному заказу возможно применение оптоволоконной или фототиристорной системы дуговой защиты, что позволяет максимально быстро отключить поврежденный участок цепи, тем самым снизить время, разрушающего воздействия электрической дуги.

Схемы вспомогательных цепей шкафов КРУ, могут быть выполнены, на различных микропроцессорных устройствах защиты, управления, автоматики и сигнализации, учёт электроэнергии, может выполняться, на электронных, или многофункциональных микропроцессорных счётчиках, электрической энергии, существует возможность интеграции, распределительного устройства.

Для защитного заземления станций и подстанций всех напряжений используется общее заземляющее устройство. Общий заземлитель используется также и для рабочего заземления.

Для защиты персонала, от выбросов продуктов, горения дуги, в коридор обслуживания, двери отсеков ВЭ и присоединений, оснащаются дополнительными защитными металлическими экранами, устанавливаемыми с внутренней стороны шкафа.

Благодаря широкой функциональности, и гибкой архитектуре шкафов, в жизнь могут воплощаться, самые сложные схемные решения, обеспечивая при этом высокий уровень, удобства эксплуатации и обслуживания оборудования.

Наличие тех или иных элементов сигнализации, и управления зависит от того, какое оборудование установлено в шкафу, и какие защиты для него необходимы, разделение шкафа, на несколько независимых отсеков, позволяет локализовать внезапно возникшую аварию, не допустить ее распространение, а также обеспечивает удобство, и безопасность обслуживания ячейки, комплектного РУ.

Существует, еще одно неоспоримое, преимущество комплектных РУ: разделение ячейки, перегородками на несколько отсеков, перегородки разделяют друг от друга отсеки, сборных шин, высокого напряжения, электрических аппаратов, цепей вторичной коммутации, устройств управления, и защиты, релейный отсек ячейки. на лицевой панели, релейного отсека, верхняя часть шкафа, расположены элементы, управления, и сигнализации: накладки, ключи управления, переключатели, указательные реле и сигнальные лампы.

Литература

Рябкова Е. Я. Комплектные распределительные устройства. – М.: Энергия, 1978 г. – 224 с., ил.

УДК 621.316.99

ПЕРЕДВИЖНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мамончик А.Н., Баран А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Трансформатор – это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты.

Передвижной трансформатор – трансформатор, который можно перевозить по железной дороге или другим видом транспорта, практически без демонтажа узлов и деталей и без слива масла, предназначенный для использования в качестве передвижного резерва

Основные особенности высоковольтных передвижных трансформаторов:

- Модульная концепция для напряжений 345, 400 и 525 кВ;
- Быстрое развертывание;
- Быстрота и простота транспортировки;
- Возможность использования систем на несколько значений напряжения.

Конструкция трансформатора дорабатывается с учетом конкретного применения с целью сокращения объема работ по разборке. Для оптимизации размеров используют броневого трансформаторы. Некоторые преимущества броневого трансформаторов:

- Компактность конструкции, при этом магнитопровод ограждает обмотки, что упрощает выполнение требований по перевозке и погрузке-разгрузке.
- Горизонтальная укладка, что упрощает перевозку и оптимизирует конструкцию трансформатора.

Сварочные трансформаторы серии ТД с механическим регулированием. Основные узлы каждого трансформатора - магнитопровод, первичные и вторичные обмотки, механизм регулирования тока, переключатель диапазонов тока, токоуказательный механизм, кожух. По принципу регулирования – это трансформаторы с подвижными обмотками.

Сварочные трансформаторы серии ТДМ с механическим регулированием. В ближайшие годы эти трансформаторы заменят передвижные трансформаторы серии ТД (ТД-300, ТД-500, ТД-502, ТД-500-4). По принципу регулирования, схеме соединения катушек обмоток и конструктивному исполнению они близки к передвижным трансформаторам серии ТД.

Трансформатор сварочный типа ТДЭ-402. Трансформатор имеет два диапазона регулирования сварочного тока, в пределах диапазона ток плавно регулируется с пульта дистанционного управления.

Тиристорный трансформатор ТДЭ-402 предназначен для ручной дуговой сварки, резки и наплавки металлов специальными электродами с железным порошком в обмазке, а также электродами общего применения.

Сварочные переносные, или облегченные, трансформаторы предназначены для прихваточных и ремонтных работ, а так же для нужд народного хозяйства, выпускаются на напряжение сети 220 и 380 В.

Сварочные трансформаторы для автоматической сварки под флюсом выпускаются в стационарном исполнении, рассчитаны на продолжительный режим, работы при принудительном воздушном охлаждении.

В основу конструкции сварочных трансформаторов серии ТДФ положен трансформатор с магнитным шунтом, подмагничиваемым постоянным током.

Сварочные трансформаторы серии ТДФЖ имеют тиристорное регулирование и обеспечивают импульсную стабилизацию процесса сварки.

Комплексные передвижные трансформаторные подстанции предназначены для электроснабжения трехфазным переменным током промышленной частоты электропотребителей распределительного пункта участка и других потребителей, эксплуатируемых в шахтах, опасных по газу или пыли, а также для обеспечения электрических защит линий низшего напряжения. Применение передвижных подстанций позволяет периодически приближать их к электропотребителям и тем самым обеспечивать благоприятные условия работы электроприемников забойного оборудования.

Серийно выпускаемые передвижные подстанции типа ТСВП (рисунок 1) конструктивно представляют собой агрегированную систему, состоящую из распределительного устройства 1 высшего напряжения (РУВН), силового трансформатора 2, распределительного устройства 3 низшего напряжения (РУНН) и ходовой тележки 4.

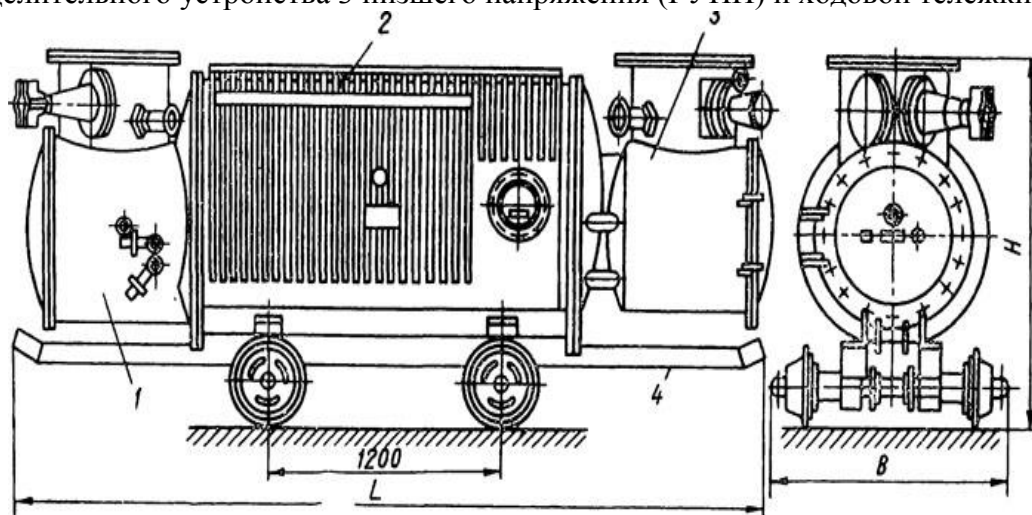


Рисунок 1 – Передвижная подстанция типа ТСВП.

Переносные, или облегченные, трансформаторы предназначены для прихваточных и ремонтных работ, где продолжительность нагрузки (ПН) не превышает 20–25 %. Передвижные сварочные трансформаторы предназначены для обычных условий работы с ПН = 60 %.

УДК 621.313.322

АСИНХРОНИЗИРОВАННАЯ СИНХРОННАЯ МАШИНА

Катрич А.Е.

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

Синхронные турбо- и гидрогенераторы способны в определенных пределах регулировать реактивную мощность, однако эти пределы ограничены. В турбогенераторах старых серий потребление реактивной мощности ограничено (иногда исключено). Это ограничение связано с повышенным нагревом, увеличением механических усилий в торцевых зонах статоров, в частности, в крайних пакетах сердечника, а также требованиями по обеспечению условий устойчивости.

Эти требования (нормализации и регулирования уровней напряжения в электрических сетях энергосистем) не могут быть обеспечены только традиционными синхронными турбогенераторами (СТГ), рассчитанными на номинальный режим работы с перевозбуждением (т.е. с конденсаторным характером реактивности). Практика эксплуатации показывает, что серийные СТГ непригодны для работы в режимах недо возбуждения и требуют модернизации.

Необходима либо дополнительная установка в сетях устройств регулирования реактивной энергии (статических или электромашинных), либо установка на электростанциях, кроме обычных крупных СТГ, специальных турбогенераторов, роль которых заранее будет определена, как не столько генерирующих систем электроэнергии, как машин, способных устойчиво работать в режимах глубокого потребления реактивной мощности. Во всем мире решение этой проблемы возложено на гидрогенераторы ГАЭС, которые исходно определены для работы в режиме двигатель-генератор. Однако существуют и другие пути регулирования баланса реактивной мощности в энергосистеме. Наиболее перспективным способом регулирования реактивной мощности в сети является установка на электростанциях асинхронизированных генераторов.

Основной отличительной особенностью асинхронизированных машин от обычных синхронных машин является наличие двух (трёх) обмоток возбуждения. В формальном режиме ротор может питаться постоянным или переменным током. При питании постоянным током, в отличие от обычной синхронной машины, осуществляется векторное управление возбуждением, что делает возможным устойчивую работу при любом угле нагрузки вплоть до 180 градусов. При питании ротора переменными токами поле возбуждения вращается относительно ротора, при этом сохраняется синхронность с полем статора. В результате, появляется возможность работы с переменной частотой вращения турбины, что актуально для гидрогенераторов, а также генераторов ветроустановок. Асинхронизированные турбогенераторы (АСТГ) мощностью от 110 до 320 МВт введены в эксплуатацию и работают в энергосистемах России и Украины. АСТГ позволяют работать не только с выдачей, но и с глубоким потреблением реактивной мощности, тем самым регулируя напряжение на шинах станции в широком диапазоне.

Асинхронизированные турбогенераторы позволяют решать ряд задач, актуальных для современных энергетических систем:

- отказаться от установки шунтирующих реакторов на линиях электропередачи, существенно сократив, таким образом, затраты на нормализацию уровней напряжения;
- расширить допустимый диапазон регулирования напряжения на шинах станции;
- вывести параллельно работающие синхронные турбогенераторы из неблагоприятных для них режимов работы с высоким коэффициентом мощности близким к 1 (или с потреблением реактивной мощности) в безопасные для них режимы с выдачей реактивной мощности и, тем самым, продлить их срок службы (увеличить межремонтные периоды);
- повысить в целом надёжность эксплуатации энергоблоков электростанции, не только за счёт более высокой живучести АСТГ (работа в резервных режимах при отказах в системе

возбуждения), но также и за счёт повышения надёжности параллельно работающих энергоблоков с синхронными турбогенераторами.

Литература

1 Поспелова Т. Г. Эффекты применения *FACTS* и АСМ в повышении эффективности региональных и национальных энергосистем. – *International conference «Energy of Moldova – 2012. Regional aspects of development»*

2 Абубакиров Ш. И. Опыт и перспективы использования асинхронизированных гидрогенераторов в проектах ОАО «Институт Гидропроект». – Гидротехника, 2010.

3 Лабунец И. А. Опыт эксплуатации и перспективы применения в энергосистемах России мощных асинхронизированных турбогенераторов. – М: Электро, 2010.

4 Манусов В. 3. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2008.

УДК 621.316.37

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Овчинникова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Элегазовые генераторные комплексы (распределительные устройства) типов HECS разработаны для применения на электростанциях всех видов (АЭС, ТЭС, ГЭС и т. д.). Также они могут быть использованы при модернизации, расширении и (или) автоматизации существующих электростанций. Они производятся как для внутренней, так и для наружной установки.

Распределительное устройство имеет 3 полюса элегазового выключателя, укомплектованных конденсаторами и разъединителем, смонтированные на раму с приводами и оборудованием управления и контроля. В систему могут быть смонтированы в пофазные оболочки встроенный заземлитель, трансформатор тока либо напряжения и ограничитель перенапряжений.

Современные элегазовые генераторные выключатели АBB повышают безопасность и эффективность электростанций всех типов во всем мире. Увеличение таких важных показателей работы станций происходит благодаря тому, что применение генераторных выключателей позволяет:

- упростить количество и процесс оперативных переключений;
- увеличить уровень защиты основного оборудования;
- повысить эксплуатационную готовность станции.

На рисунке 1 представлена схема с возможными вариантами оборудования.

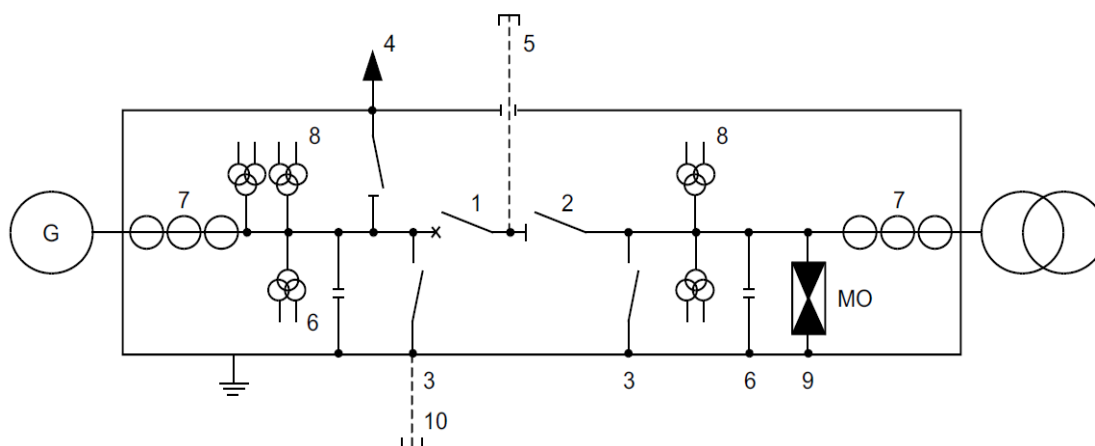


Рисунок 1 – Схема элегазового генераторного комплекса

Стандартная конструкция элегазового генераторного комплекса состоит из следующих частей:

- элегазового выключателя 1 и разъединителя 2;
- заземлителей 3 с одной или обеих сторон (для HECS на одной стороне выключателя можно смонтировать шину для использования в качестве закоротки);
- трансформаторов тока 7 с одной или обеих сторон до трех сердечников на трансформатор (в зависимости от класса);
- трансформаторов напряжения 8 с одной или обеих сторон, с одной или двумя обмотками;
- пускового выключателя 4 для (с пониженным напряжением) пуска газовой турбины через статический преобразователь частоты (SFC);
- конденсаторов 6 для защиты от перенапряжения с обеих сторон.

Если этого требует планировка электростанции, из стандартного исполнения можно удалить некоторые составные элементы.

Также стандартное исполнение можно расширять следующими опциональными компонентами:

– для НЕСС: короткозамыкающее соединение 5 в сочетании с заземлителем 3 со стороны генератора или монтируемое вручную (для настройки защиты электростанции)

– для НЕС 7/8: короткозамыкающее соединение 10 или стационарно установленное с заземлителем или монтируемое вручную (для настройки защиты электростанции);

–разрядник 9 со стороны трансформатора.

Трехполюсное элегазовое распределительное устройство с последовательно соединенными выключателем и разъединителем в однополюсных кожухах, поставляется полностью смонтированным на раме, с приводом и с системой управления и контроля.

В дугогасительной камере 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.

В выключателе применены отдельные дугогасительные контакты и главные токопроводящие контакты для проведения тока во включенном положении выключателя. Такое решение дает возможность избежать износа (эрозии) главных контактов и гарантировать их токопроводящую способность даже после большого количества операций.

Гидропружинный привод 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 испытанные элементы гидравлической техники, такие как клапаны управления и гидроцилиндры.

Разъединитель имеет телескопически перемещающуюся трубу. Подвижный контакт расположен со стороны вывода, неподвижный – со стороны выключателя. Такое расположение гарантирует свободный доступ и делает более простым техническое обслуживание и ремонт.

Заземлитель и его соединения предназначены для защитного заземления, то есть он рассчитан на полный аварийный ток, но не обладает включающей способностью или способностью длительного пропускания тока.

Заземлитель является конструкцией с рубящим ножом на шарнире, соединённым с кожухом, и с неподвижным контактом на токоведущем контуре.

Короткозамыкатель можно установить между выключателем и разъединителем. Короткозамыкатель и его соединители между полюсами разработаны для проведения испытаний и регулировок системы защиты электростанции. Включение короткозамыкателя создает цепь трехфазного короткого замыкания без земли, которую можно соединить с генератором, включив выключатель.

Конденсаторы для защиты от перенапряжения установлены с обеих сторон выключателя и обеспечивают добавочную защиту от перенапряжения, а также способствуют гашению дуги в выключателе, ограничивая переходное восстанавливающееся напряжение.

Конденсаторы для защиты от перенапряжений установлены вне кожуха полюса. Только фарфоровые проходные изоляторы проходят во внутренние кожуха полюса.

Все аппараты управления и контроля установлены в *шкафу управления*. Шкаф управления расположен над приводом выключателя и механически не соединен с общей рамой. Активная мнемоническая схема показывает положение и обеспечивает локальное управление выключателем и другими аппаратами. Она находится на панели двери, сзади стеклянных дверей коробки управления.

В шкафу управления установлен также переключатель управления «местное / дистанционное», счётчики числа операции выключателя и пусков насоса привода выключателя.

Весь комплекс, полностью собранный со всем оборудованием, испытывается на заводе. Затем оборудование отправляется на место назначения в виде одного агрегата.

Монтаж на месте установки требует хорошо подготовленного фундамента. Так как оборудование доставляется в виде одного агрегата, собранного целиком и испытанного, время, требующееся для монтажа и ввода в эксплуатацию, очень мало.

На месте нужно только выполнить сварку кожухов полюсов и кожухов шин, присоединить гибкие проводники и выполнить приемочные испытания.

Генераторные выключатели HECS и HEC 7/8 не нуждаются в техническом обслуживании. Ремонт можно проводить, основываясь на времени работы и числе отключений тока. Удаление кожухов полюсов дает свободный доступ ко всем компонентам полюса, включая измерительные трансформаторы, конденсаторы и разрядник.

Эрозию контактов можно измерить, не открывая дугогасительную камеру с помощью метода DRM (метод измерения динамического сопротивления), который был специально разработан для генераторных выключателей. Это позволяет оптимизировать промежуток между техническим обслуживанием, даже в условиях большой частоты коммутации больших токов.

Литература

ABB [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию систем управления, приводов, электрического оборудования. – Режим доступа: <http://www.abb.by/ProductGuide/>, свободный.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Шумай А. Я.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К. И.

Силовые трансформаторы (СТ) являются основными преобразователями электрической энергии в современных энергосистемах. В рабочем цикле СТ можно выделить моменты наиболее ответственного функционирования - переходные процессы, возникающие при включениях, изменениях нагрузки со стороны потребителей энергии, аварийные режимы работы и т.д. Поэтому главной задачей автоматизированного проектирования СТ является создание проекта, позволяющего при минимизации затрат и материалов на его создание, обеспечить надежность нового объекта во всех режимах.

Для проектирования СТ используются методики, которые в большой степени опираются на эмпирические зависимости. В связи с этим расчетные значения параметров проектируемого устройства могут отличаться от параметров реального трансформатора.

Поскольку любой процесс проектирования характеризуется последовательным уточнением параметров объекта, в арсенале проектировщика должен быть набор математических моделей, позволяющий определять эти параметры с повышающейся степенью точности.

До последнего времени уточненный расчет рабочих характеристик трансформатора был затруднен. На многих предприятиях, выпускающих данные устройства и осуществляющих их ремонт, предпочтение отдавалось классическим инженерным методикам, дающим большие погрешности при выходе конструкции за пределы традиционных исполнений. Так как в условиях современного рынка возрастает спрос на мелкие партии и даже штучные экземпляры трансформаторов, зачастую нет времени на создание опытных образцов и на корректировку методики проектирования и алгоритмов. Все это предъявляет повышенные требования к точности, универсальности и быстродействию математических моделей. При оценке вариантов использования системы математического моделирования динамических режимов трансформаторов можно сделать следующие выводы: использование системы при проектировании трансформаторов позволит выполнять поверочные расчеты рабочих характеристик в статических режимах работы проектируемого объекта и поможет оценить надежность трансформатора в моменты аварийных ситуаций с учетом динамики их развития и как следствие - повысить качество проектов; использование системы в целях диагностирования состояния трансформаторов поможет обслуживающему персоналу при принятии оперативных решений, а также позволит создавать системы интеллектуального мониторинга на основе метода сравнительного анализа, что позволит продлить срок службы СТ; расширение возможностей обучающего проектирования и проведения диагностики «виртуальных» объектов также осуществимо при привлечении системы моделирования; реализуется возможность проведения подобных действий с привлечением Интернет технологий, позволяющая раздвинуть рамки использования системы.

УДК 621.316.99

ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Махнач Д.Н.

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

Уравнения движения проводов, представленных гибкой упругой нитью.

Единственное решение гиперболических уравнений выделяется при помощи дополнительных условий: начальных и краевых.

Однако численные методы позволяют найти только частное решение задачи динамики провода при КЗ, соответствующее конкретным граничным условиям.

В процессе преобразования уравнения к безразмерному виду выявляются сочетания и комбинации параметров провода, одинаковые для подобных решений задачи.

Согласно третьей теореме подобия для сходства решений уравнений движения проводов при КЗ должны быть соответственно одинаковы определяющие критерии подобия и подобны условия однозначности, то есть начальные и краевые условия.

В качестве базисных величин примем длину пролета, максимальную стрелу провеса, начальное тяжение провода до КЗ и угловую частоту собственных колебаний провода.

Таким образом, одинаковые динамические решения могут иметь провода с одинаковыми геометрическими критериями подобия.

На первом этапе считаем, что концы проводов жестко закреплены на опорах и неподвижны при КЗ, для всех частных решений краевые условия одинаковы.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Для решения уравнений необходимо обеспечить совпадение мгновенных величин, распределенных ЭДУ, имеющих четыре составляющие, в том числе пульсирующие с частотами 50 и 100 Гц.

Принимаем, что эти силы равномерно распределены по пролету и действуют в горизонтальной плоскости.

Эквивалентирование ЭДУ производится с помощью интегрального критерия КЗ, импульса ЭД.

Указанная задача эквивалентирования ЭДУ решается следующим образом.

Практическая реализация указанного алгоритма вычисления импульса ЭДУ таким способом затруднительна, так как он базируется на численном решении дифференциальных уравнений движения проводов.

Достоверность приближенного алгоритма определения импульсов ЭДУ подтверждается сопоставлением результатов численного вычисления импульса по компьютерной программе (КП).

Для оценки погрешности расчета параметров динамики провода при КЗ, возникающей от замены динамических ЭДУ эквивалентными, выполнено их сравнение для различных токов и длин пролетов.

В момент, предшествующий отключению КЗ, на провод действуют мгновенные величины ЭДУ, тяжений, силы инерции и вес провода.

С использованием критериев геометрического и динамического подобий выполнено обобщение результатов частных численных решений по компьютерной программе, представленное в графической форме.

Жесткие шины чувствительны к сейсмическим воздействиям, а также к просадкам и наклонам опорных конструкций, требуют точной установки изоляционных опор и высокого качества строительно-монтажных работ.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка».

Основными элементами гибкой ошиновки являются многопроволочные сталеалюминиевые провода марок АС, АСК, АСКП, а с сечениями 70–1000 мм².

Литература

Сергей И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.

УДК 621.316.99

ВНУТРИФАЗНЫЕ И МЕЖДУФАЗНЫЕ РАСПОРКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дисковец А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

Использование: в электроэнергетике, в воздушных линиях передачи, для гашения паразитных колебаний проводов. Сущность изобретения: распорка содержит два элемента, установленных с возможностью продольного перемещения одного относительно другого и упругий упор в виде витой цилиндрической пружины, прикрепленной с помощью установленных на ее торцах зажимов непосредственно к проводам.

Известны распорки виброгасители колебаний проводов, содержащие упругие ограничители в виде отрезков троса, один конец которых закреплен на корпусе распорки, а другой введен в непосредственный контакт с зажимом для крепления к проводу [1, 2] Снижение уровня вибрации проводов происходит за счет затраты части энергии колебаний на преодоление внутривиткового трения упругих ограничителей.

Недостатком данных аналогов является низкая эффективность гашения вибраций проводов.

Известны также распорки для проводов, содержащие тягу, выполненную в виде двух элементов с возможностью взаимного перемещения, и зажимы для крепления тяги к проводам [1, 2] Данные распорки снижают взаимную передачу энергии между проводами ввиду отсутствия жесткой связи между элементами тяги.

Недостатком данных аналогов является низкая эффективность гашения вибраций проводов. Это объясняется тем, что здесь также нет активного гашения паразитных колебаний, а обеспечивается лишь пассивная виброизоляция проводов друг от друга.

Наиболее близкой по технической сущности и достигаемому эффекту к изобретению является выбранная в качестве прототипа распорка для проводов воздушных линий электропередачи, содержащая два элемента, являющихся частями жидкостного демпфера, установленных с возможностью продольного перемещения одного относительно другого, каждый из которых взаимосвязан с зажимом для крепления к соответствующему проводу, и две цилиндрические пружины, торцы которых непосредственно скреплены с зажимами для крепления к проводам [6]

Недостатком прототипа является низкая эффективность гашения вибраций проводов. Это объясняется тем, что в устройстве происходит только пассивное гашение энергии паразитных колебаний проводов и практически не происходит активная "отстройка" колебательной системы с резонансных режимов.

При значительных амплитудах колебаний в резонансном режиме, когда витки пружины полностью сжаты и распорка становится жесткой, возникает эффект "отстройки" от резонанса.

Однако это явление мгновенное, в следующий после "отстройки" момент времени амплитуда колебаний падает, собственная частота системы опять совпадает с частотой внешних воздействий, опять возникает резонансный режим и так далее, то есть будет происходить периодическое затягивание упругой системы провод распорка провод на резонансные режимы, вызывающие раскачку системы.

Известна дистанционная распорка-гаситель колебаний для проводов расщепленной фазы воздушной линии электропередачи, содержащая корпус, тяги по числу проводов расщепленной фазы, каждая из которых на одном конце выполнена с обоймой, закрепленной в корпусе, а другом за одно целое с плашкой-зажимом, и эластомерные вкладыши в виде шариков, расположенные равномерно внутри каждой обоймы.

Известна дистанционная распорка-гаситель колебаний для проводов расщепленной фазы воздушной линии электропередачи, содержащая корпус, тяги по числу проводов

расщепленной фазы, каждая из которых на одном конце выполнена с обоймой, закрепленной в корпусе, а другом за одно целое с плашкой-зажимом, и эластомерные вкладыши в виде шариков, расположенные равномерно внутри каждой обоймы.

Литература

Калентионюк Е.В., Филипчик Ю.Д. Исследование устойчивости электроэнергетических систем на ЭВМ: Методическое пособие к курсовой работе по дисциплинам «Устойчивость электроэнергетических систем», «Переходные процессы в электроэнергетических системах». - Мн.: БНТУ, 2010 – 85 с.

УДК 668.409.81

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РАМКАХ БОЛОНСКОГО ПРОЦЕССА

Трипутень А.Д.

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

Болонский процесс есть технологический процесс по становлению демократических и гуманитарных принципов образования. Особенность технологии Болонского процесса состоит в его широкомасштабности, этапности, емкости и продуманности технических и методических аспектов. Развернуть технологично Болонский процесс на постсоветском пространстве возможно только при соотношении целевых рамок Европейской интеграции и Беларуси, после рефлексии мыслительных, социокультурных и исторических различий, и программных процессов.

Проблематика Болонского процесса в Беларуси актуализировалась неоднократно. Научные обсуждения по данной теме то затихали, то возгорались с новой силой, но принципиального окончательного решения по данному вопросу на уровне государственной политики так и не было принято.

Болонский процесс – процесс сближения и гармонизации систем высшего образования стран Европы с целью создания единого европейского пространства высшего образования. Его начало относится к середине 1970-х годов, когда Советом министров Европейского Союза была принята Резолюция о первой программе сотрудничества в сфере образования.

Присоединение Республики Беларусь к Болонскому процессу потребует соответствующего нормативно-правового обеспечения. В данной работе рассматриваются некоторые положения Болонской декларации с точки зрения дальнейшей их имплементации в Республике Беларусь, исследуется национальное законодательство в области образования, а также российский опыт реализации отдельных задач Болонской декларации.

Приблизительно две трети стран, подписавших Болонскую декларацию, ратифицировали наиболее важный юридический акт – Конвенцию о признании квалификаций, относящихся к высшему образованию в европейском регионе, принятую в Лиссабоне 11 апреля 1997 года (далее – Лиссабонская конвенция).

Для содействия достижению поставленных целей и установления процедур признания в транснациональном образовании созданы Европейская сеть национальных информационных центров по академическому признанию и мобильности (ENIC) и Информационные центры национального академического признания (NARIC).

Что касается самих процедур признания и установления эквивалентности документов иностранных государств об образовании, ученых степенях и ученых званиях, а также выдачи соответствующих свидетельств, то в Российской Федерации они осуществляются Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки, находящейся в ведении Министерства образования и науки Российской Федерации.

Подтверждение эквивалентности документов о высшем образовании, признание и установление соответствия периодов обучения и курсов высшего образования, а также подтверждение степеней высшего образования Республики Беларусь и других государств осуществляются Министерством образования Республики Беларусь в порядке, установленном Правительством Республики Беларусь.

Общей философией Единого Европейского приложения к диплому – описать полученное студентом образование таким образом, чтобы работодателю без дополнительных вопросов стало понятно, образование какого качества и в каком объеме получил предъявивший его выпускник любого уровня высшего образования. В приложении помимо конкретных данных об учебе студента описывается общая система образования в стране, что позволяет понять, на каком этапе «болонских» преобразований находится национальная система высшего образования.

Образец единого европейского приложения к диплому включает в себя восемь разделов, обязательных для заполнения: «информация об обладателе квалификации», «информация о полученной квалификации», «сведения об уровне квалификации», «информация о содержании обучения и полученных результатах», «профессиональная характеристика квалификации», «дополнительная информация», «сведения о сертификации диплома», «общая информация о национальной системе образования».

Внедрение европейской системы перевода кредитов (European Credits Transfer Systems (ECTS)) – третья задача Болонской декларации – направлена на развитие крупномасштабной студенческой мобильности. Европейская система перевода кредитов была разработана Комиссией Европейского Сообщества для обеспечения академического признания. В данной системе созданы методы измерения и сравнения учебных достижений, а также их перевода из одного вуза в другой имеет собственную систему кредитов, основанную на измерении трудозатрат студента. Трудозатраты студента включают в себя посещение лекций, аудиторные часы и часы для самостоятельной работы. Она также включает в себя работу по подготовке к экзаменам и другим зачетным мероприятиям. Кредиты ECTS отражают количество работы, требуемой для каждого отдельного курса, по отношению к общему количеству работы, необходимой для завершения полного года академического обучения в вузе.

Поскольку ВУЗы Республики Беларусь – это самостоятельные юридические лица, а участники образовательного процесса – как правило, совершеннолетние дееспособные физические лица, то они в соответствии с принципами гражданского законодательства свободны в установлении своих прав и обязанностей на основе договора и в определении любых не противоречащих законодательству условий договора, в том числе и в части академической мобильности.

Литература

Болонский процесс в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о присоединении Республики Беларусь к Болонскому процессу. – Режим доступа: <http://www.interstudy.by/index.php?option=com>, доступ свободный. – Загл. с экрана

УДК 621.316.99

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 кВ И ВЫШЕ С ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКОЙ

Соколов В. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – Андрукевич А. П.

Жесткая ошиновка может использоваться в ОРУ всех напряжений.

В ОРУ и ЗРУ напряжением 110–500 кВ рекомендуется использовать экономичные конструктивные решения с жесткой трубчатой ошиновкой.

Жесткая ошиновка включает в себя жесткие шины, шинодержатели, компенсаторы температурных деформаций, спуски или ответвления, изоляторы или изоляционные опоры.

В ОРУ или ЗРУ (далее – РУ) напряжением 110–500 кВ рекомендуется использовать жесткие трубчатые шины (шины кольцевого сечения).

Длина пролета сборных шин (расстояние между соседними изоляционными опорами), как правило, выбирается равной шагу ячейки.

Ответвления от жестких трубчатых шин, а также соединения отдельных участков шин должны выполняться сваркой, опрессовкой (для гибких проводников спусков).

Для крепления жесткой ошиновки используются фарфоровые и полимерные опорные изоляторы и изоляционные опоры.

Для борьбы с ветровыми резонансными колебаниями следует использовать технические решения, обеспечивающие увеличение рассеяния.

Использование интерцепторов допустимо только после натуральных испытаний (опытной эксплуатации отдельных пролетов).

Длина пролета внутриячейковых связей нижнего яруса обычно меньше длины пролета сборной шины.

Температурные деформации (удлинения и сжатия) шин не должны приводить к дополнительным усилиям на изоляционные опоры, аппараты, измерительные трансформаторы и другое оборудование.

Шинодержатели (компенсаторы температурных деформаций) в узлах свободного крепления шины должны обеспечивать продольные перемещения шины.

Следует отдавать предпочтение шинодержателям, обеспечивающим наименее трудоемкий монтаж ошиновки.

Прочность всех шинодержателей должна соответствовать ожидаемым электродинамическим, ветровым, гололедным нагрузкам.

Изоляторы должны отвечать номинальному напряжению установки, уровню ожидаемых перенапряжений.

При снижении жесткости, а также увеличении массы опор, частота собственных колебаний ошиновки снижается.

Снижение жесткости опор приводит к увеличению максимальных прогибов шин при КЗ.

Изоляторы проверяются по условиям стойкости (прочности) при действии электродинамических, ветровых, гололедных нагрузок.

При расчете нагрузочной способности шин должны приниматься наиболее тяжелые условия окружающей среды.

Ошиновка должна проверяться по условиям короны и радиопомех.

Проверку шин по условиям короны допускается проводить расчетным путем.

Трубчатые шины РУ напряжением до 220 кВ допускается не проверять по условиям короны.

Температурные удлинения или сжатия шин не должны приводить к дополнительным усилиям на изоляционные опоры.

Следует учитывать, что в ОРУ при штиле условия конвективного теплообмена эффективнее, чем в ЗРУ и определяются свободно-вынужденной (смешанной) конвекцией.

Литература

Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ, М., 2005.

УДК 621.3.064.1

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ТКЗ

Андреев А. Ф., Гавриелок Ю. В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

Проблемы автоматизации проектирования технических устройств в последние годы привлекают внимание все большего числа исследователей. Развитие методологии, численных методов и алгоритмов оптимального проектирования (процесса выбора наилучшего с точки зрения технико-экономической эффективности устройства РЭА или ЭВА) оказывает решающее влияние на особенности систем автоматизированного проектирования (САПР), внедряемых в НИИ, КБ и на предприятиях.

Поэтому в учебные планы по подготовке студентов различных специальностей – будущих специалистов, использующих САПР в своей инженерной деятельности, введена специальная дисциплина по основам принятия оптимальных решений с помощью ЭВМ.

Общим для задач принятия оптимальных решений, которые возникают на разных этапах проектирования, является то, что они могут быть сформулированы математически как задача нелинейной оптимизации: для заданной математической модели проектируемого устройства требуется подобрать такие значения варьируемых параметров, чтобы они обеспечивали экстремальное значение (максимум или минимум) одной из наиболее важных технико-экономических характеристик при условии, что другие характеристики удовлетворяют заданной совокупности технических требований.

К сожалению, среди численных методов поиска оптимальных решений, которые получили название методов оптимального проектирования (методов оптимизации, методов поиска), не существует универсального, который позволял бы эффективно решать любую задачу нелинейной оптимизации. В настоящее время решение каждой задачи оптимального проектирования требует индивидуального подхода и связано с применением нескольких методов поиска оптимального решения, и даже в этом случае успех во многом будет зависеть от квалификации и опыта проектировщика. В связи с этим в разрабатываемых системах автоматизированного проектирования большое внимание отводится вопросам принятия оптимальных решений в интерактивном режиме, когда пользователь имеет возможность оперативно взаимодействовать с ЭВМ на любом этапе решения своей задачи. При этом в результате диалога «человек—машина» он может менять как число, так и тип варьируемых переменных, выбирать наиболее эффективный в сложившейся ситуации метод поиска, подстраивать численные параметры методов к конкретным особенностям оптимизируемой функции и т. д. Такой подход к решению задач оптимального проектирования позволяет осуществлять адаптацию методов поиска к особенностям и трудностям конкретной задачи, но для этого разработчик должен понимать, в каких случаях и какие методы оптимального проектирования необходимо применять для того или иного класса экстремальных задач, возникающих на разных этапах проектирования.

Коротким замыканием (КЗ) называется соединение токоведущих частей разных фаз или потенциалов между собой или на корпус оборудования, соединенный с землей, в сетях электроснабжения или в электроприемниках. КЗ может быть по разным причинам: ухудшение сопротивления изоляции во влажной или химически активной среде, при недопустимом перегреве изоляции, механические воздействия, ошибочные воздействия персонала при обслуживании и ремонте и т. д.

Как видно из самого названия процесса, при КЗ путь тока укорачивается, т. е. он идет, минуя сопротивление нагрузки, поэтому он может увеличиться до недопустимых величин, если напряжение не отключится под действием защиты.

Но напряжение может не отключиться и при наличии защиты, если КЗ случилось в удаленной точке, и из-за большого сопротивления до места КЗ ток недостаточен для

срабатывания защиты. Но этот ток может быть достаточным для загорания проводов, что может привести к пожару.

Отсюда возникает необходимость расчета тока короткого замыкания (ТКЗ). Очевидно, что с развитием вычислительной и компьютерной техники, будет рационально максимально автоматизировать процесс расчёта КЗ. Примером программы, которая рассчитывает токи короткого замыкания при правильно оформленных входных данных является программа ТКЗ, созданная Н. Н. Бобко. В данной работе будет рассмотрена модификация данной программы, позволяющая учитывать активные сопротивления проводников.

Литература

1 Булат, В. А. Конспект лекций по дисциплине «Переходные процессы» / В. А. Булат. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2010. – 78 с.

2 Бобко, Н. Н. Методические указания по лабораторной работе № 6 «Расчёт токов несимметрических коротких замыкания на ЭВМ» по дисциплине «Математические задачи энергетики» / Н. Н. Бобко. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2000. – 28 с.

УДК 621.316.925

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Башаркевич Я.В., Баран А.Г.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

В работе выполнено исследование влияния величины напряжения резервного источника питания на успешность самозапуска электродвигателей 6 кВ собственных нужд Светлогорской ТЭЦ с помощью программы SAMOSAPU, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

Основу всей нагрузки на электростанциях любого типа составляют электродвигатели 6 кВ собственных нужд, которые приводят в действие наиболее ответственные механизмы и аппараты (питательные насосы, дутьевые вентиляторы, дымососы, конденсатные насосы, дробилки, циркуляционные насосы и др.).

Кратковременное снижение или полное исчезновение напряжения на шинах собственных нужд, вызванное коротким замыканием или переключением на резервное питание из-за автоматического или ошибочного ручного отключения рабочего питания, ведет к снижению частоты вращения двигателей вплоть до полной остановки части из них. Для сохранения в работе основных агрегатов электростанции двигатели ответственных механизмов при этом не отключаются от шин. После устранения причины кратковременного нарушения электроснабжения они восстанавливают нормальную частоту вращения без вмешательства персонала. Такой процесс называется самозапуском.

Продолжительность самозапуска двигателей не должна превышать 9–10 с. Для некоторых механизмов время самозапуска электродвигателей ограничивается в еще большей степени по технологическим причинам.

Чем более кратковременный перерыв питания, тем меньше двигатели успевают затормозиться, тем меньше их пусковые токи и больше начальное напряжение на шинах после включения резервного питания и, следовательно, тем быстрее самозапуск двигателей. Поэтому следует по возможности сокращать время действия защит и АВР на собственных нуждах.

Некоторые особенности имеет самозапуск ответственных механизмов (питательных или циркуляционных насосов) с синхронными двигателями. При перерыве питания менее 0,5 с вхождение двигателя в синхронизм происходит достаточно быстро, если вращающий асинхронный момент двигателя обеспечивает увеличение частоты вращения, необходимое для втягивания в синхронизм. Большую помощь в этом обеспечивает форсировка возбуждения. При недостаточном асинхронном моменте (слишком низкое восстанавливающееся напряжение, работа с обмоткой ротора, замкнутой на якорь возбудителя), а также при перерывах в питании более 0,5 с втягивания в синхронизм может не произойти, и тогда потребуется ресинхронизация под нагрузкой или повторный пуск, если возможна кратковременная остановка механизма. Это осуществляется специальными схемами автоматики, которые воздействуют на отключение АП и замыкание обмотки ротора на сопротивление, в 7–10 раз превышающее сопротивление этой обмотки, с одновременной форсировкой возбуждения (производится ресинхронизация). Или приводят в действие нормальную схему пуска после восстановления напряжения на СН. В случае необходимости схема ресинхронизации дополняется автоматикой разгрузки механизма.

Для успешности самозапуска начальное напряжение на шинах СН должно быть достаточным, чтобы создать избыточный момент для разбега всех основных двигателей, а продолжительность разбега двигателей, зависящая как от начального напряжения, так и скорости его восстановления, не должна превышать предельно допустимую.

В результате выполнения вычислительного эксперимента с помощью компьютерной программы SAMOSAPU, установлено, что при перерыве питания длительностью 1 с обеспечивается успешный самозапуск электродвигателей, подключенных к исследуемым секциям, при снижении напряжения резервного источника до величины 5,5 кВ.

УДК 668.409.81

ДЕМПФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ И ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ

Кимстач Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

Воздушной линией электропередачи выше 1 кВ называется устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т. п.). Для обеспечения надежной работы ВЛ необходимо обеспечивать ее защиту различными устройствами в зависимости от вида климатических воздействий.

Пляска проводов обычно возникает при сочетании порывистого ветра с гололедом при скоростях ветра 5–20 м/с и направлении под углом 30–90° к оси линии.

Вибрация проводов это периодические колебания проводов с большой частотой и малой амплитудой. Такие колебания обычно наблюдаются при слабом ветре (при скорости ветра от 0,5 до 7,0 м/с) и в основном при отсутствии гололеда. Вибрация возможна при отложении цилиндрической изморози и тогда она происходит с малой частотой и большой амплитудой (равной диаметру изморози).

Вибрация проводов возникает вследствие образования завихрений воздушного потока при обтекании провода.

Вибрирующий провод в пролете ВЛ имеет волнообразную форму. Колебания провода при вибрации представляют собой стоячие волны, когда точки провода с наибольшим размахом колебаний (пучности) и точки провода, остающиеся неподвижными в процессе колебаний (узлы), не меняют своего положения по длине провода. Длина волны вибрации равна удвоенному расстоянию между двумя соседними узлами (или пучностями). Наибольший размах колебаний называется амплитудой вибрации. Амплитуда вибрации обычно не превышает 3–5 см при длине волны от 1 до 10 м за 1 с происходит от 5 до 100 колебаний.

Вероятность возникновения вибрации возрастает с увеличением длины пролета линии, диаметра и высоты подвески провода. С изменением тяжения по проводу меняются длина волны, амплитуда и частота вибрации.

В результате вибрации в месте крепления провода в поддерживающем или натяжном зажиме возникают перегибы.

Происходит разрушение отдельных проволок провода, а затем и обрыв провода при нормальном тяжении. Провод до разрушения выдерживает от полумиллиона до нескольких десятков миллионов перегибов. С увеличением тяжения по проводу усталость металла наступает при меньшем числе перегибов.

Известен гаситель вибрации для проводов воздушной линии электропередачи, содержащий выполненный в виде проволочного стального троса упругий демпферный элемент, жестко закрепленные на некотором расстоянии от подвески гасителя на концах упругого демпферного элемента литые грузы и выполненный в виде захвата и плашки зажим, причем зажим закреплен на средней части упругого демпферного элемента, а захват крепится на проводе при помощи плашки и крепежного болта. Такой гаситель достаточно эффективен при гашении эоловых вибраций в диапазоне частот от 5 до 100 Гц, где он имеет все необходимые собственные частоты. Но главный недостаток этого гасителя вибрации состоит в том, что он не может эффективно работать как ограничитель гололедообразования, так и гасителя пляски.

Установка гасителей вибрации обязательна как для одиночных проводов, так и для расщепленных независимо от среднеэксплуатационных напряжений в проводах при пересечении больших рек, водоемов, открытых горных долин, если длина пролета

пересечения превышает 500 м для больших рек и водоемов и 800 м для горных долин, где вибрация проявляется несколько в меньшей степени, чем при пересечении рек и водоемов.

В начале 80-х годов некоторое время выпускались гасители вибрации с укороченными грузами и с грузами каплевидной формы вместо цилиндрической.

Эффективность работы таких гасителей очень низкая. Имелись случаи усталостных повреждений проводов и грозозащитных тросов ВЛ, оснащенных этими гасителями. В настоящее время выпуск таких гасителей прекращен, а установленные ранее гасители с укороченными грузами и грузами каплевидной формы подлежат замене на стандартные.

При установке двух гасителей в пролете с каждой стороны пролета устанавливается по одному гасителю; при установке одного гасителя в пролете (с одной стороны пролета) рекомендуется устанавливать их через одну опору – по обе стороны от крепления провода или троса к гирлянде.

Защита от вибрации расщепленной фазы, состоящей из двух проводов, соединенных в пролете распорками с расстоянием между ними не более 75 м при длине пролетов 150 м и более, осуществляется типовыми гасителями типа ГВН.

При установке четырех гасителей в пролете с каждой стороны пролета устанавливается по два гасителя (по одному на каждом проводе); при установке двух гасителей они устанавливаются по одному на фазу с каждой стороны пролета поочередно на разных проводах фазы.

Провода расщепленной фазы, состоящей из трех-пяти проводов и более, соединенные распорками с расстоянием между ними не более 75 м, в обычных пролетах не требуют защиты от вибрации при любых значениях среднеэксплуатационного напряжения. При этом для четырех и пяти проводов в фазе до разработки распорок повышенной надежности и стойкости к вибрации рекомендуется для обеспечения безопасного уровня колебаний проводов устанавливать сосредоточенные распорки поочередно с группами из пяти и семи парных распорок (соответственно для фаз из четырех и пяти проводов) с расстоянием между ними (под пролетами) не более 40 м. Подпролеты, примыкающие к опорам, сокращаются: первый до 20 м, а следующий за ним до 25–30 м. В отдельных случаях могут применяться только группы из парных распорок.

Литература

Васильев А. А. Контактные сети и линии электропередач. – М.: Энергоиздат, 1990 г. – 551 с., ил.

УДК 621.311

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Машлякевич С.Ю.

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

Повреждения в главных схемах обычно сопровождаются короткими замыканиями. Процессы короткого замыкания характеризуются прохождением больших токов и глубоким понижением напряжения. Они возникают и развиваются в очень короткое время.

Время, затрачиваемое персоналом на ликвидацию несложных аварий после автоматического отключения поврежденного оборудования релейной защитой, исчисляется минутами, если персонал находился на щите управления и был готов к экстренным действиям. На ликвидацию сложных аварий уходят десятки минут.

Опыт эксплуатации показывает, что значительная часть отключений релейной защитой оборудования вызывается такими нарушениями высоковольтной изоляции, которые самоустраиваются при снятии напряжения. Повреждения такого рода называют неустойчивыми.

Пуск в действие устройства АПВ осуществляется различными способами: один из них – релейной защитой при отключении выключателя поврежденной цепи.

В эксплуатации получили распространение два вида устройств АПВ линий: трехфазное (ТАПВ), подающее импульс на включение трех фаз выключателя, и однофазное (ОАПВ), осуществляющее включение лишь одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном коротком замыкании.

Наибольший эффект дает применение устройств ТАПВ на одиночных линиях с односторонним питанием, так как при каждом успешном автоматическом повторном включении линии восстанавливается питание потребителей и предотвращается авария.

Однофазные устройства АПВ применяются в сетях напряжением 220 кВ и выше, работающих с глухозаземленной нейтралью.

Однофазные АПВ не действуют при междуфазных короткого замыкания. Поэтому на линиях электропередачи 330–750 кВ применяются комбинированные устройства, которые действуют как ОАПВ при однофазных короткого замыкания и как ТАПВ при междуфазных.

Наименьшая выдержка времени, с которой производится АПВ линий с односторонним питанием, не менее 0,3–0,5 с.

Успешность их действия достигает 65–75 % случаев автоматических отключений шин. Применяются два способа АПВ шин: с использованием имеющихся устройств АПВ выключателей на питающих линиях и трансформаторах и с помощью специальных комплектов устройств АПВ шин.

Для предотвращения недопустимого включения электрических цепей на несинхронное напряжение их устройства АПВ выполняются с контролем синхронизма.

Устройства АПВ трансформаторов выполняются по тем же схемам, что и устройства АПВ линий. При необходимости в их схемы вводятся органы контроля напряжения и синхронизма.

В нормальном режиме работы на вал турбогенератора действует два момента: момент турбины (M_t), вращающий ротор генератора и стремящийся ускорить его вращение, и синхронный электромагнитный момент (M_c), противодействующий вращению ротора.

Полная потеря возбуждения может иметь место при неисправности возбудителя, обрыве в цепи ротора, ошибочном отключении АГП и в других случаях.

Регулятор турбины, стремясь сохранить частоту вращения турбогенератора нормальной, уменьшит пропуск пара в турбину, вследствие чего несколько снизится скольжение и активная мощность генератора.

Нагрев турбогенератора зависит от значения активной нагрузки, он не везде контролируется термометрами сопротивления и нарастает очень быстро в течение 8–10 мин.

При обрыве в цепи возбуждения показание амперметра будет равным нулю.

Практика показывает, что после восстановления возбуждения при сниженной до соответствующих значений активной нагрузки ресинхронизация турбогенератора проходит успешно, без повторных циклов колебаний асинхронного режима.

Турбогенератор, частично потерявший возбуждение, утрачивает статическую устойчивость и выходит из синхронизма.

Все синхронные генераторы рассчитаны для работы с симметричными нагрузками, когда токи в фазах практически равны между собой.

Магнитное поле токов обратной последовательности вращается в сторону, противоположную вращению ротора. Частота его вращения относительно ротора достигает двойного значения, при этом реакция ротора на обратно вращающееся поле проявляется очень сильно.

Для защиты ротора генератора от чрезмерного нагрева при работе в несимметричном режиме применяется специальная токовая защита, реагирующая на ток обратной последовательности, превышающий максимально допустимое его значение по условию нагрева ротора.

При неполнофазном отключении выключателя генератор перейдет в неполнофазный режим синхронного двигателя. В двигательном режиме при включенном АГП и возбуждении, соответствующем холостому ходу, ток обратной последовательности в генераторе ничтожно мал и генератор может длительно оставаться включенным в сеть.

При включении одной или двух фаз выключателя блока в момент его синхронизации генератор может втянуться в синхронизм и остаться в работе синхронно с системой. Обнаружить несимметричный режим в данном случае можно только по сигнализации неполнофазного включения.

При неполнофазном отключении выключателя блока, находящегося под номинальной нагрузкой может привести к значительной несимметрии токов в фазах генератора.

Литература

Калентионок Е.В. Предупреждение и ликвидация аварийных режимов. – Мн.: БНТУ, 2004. – 187 с.

УДК 621.316

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ

Холопик Н. Н.

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

Способ заземления нейтрали сети определяет: ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании; схему построения релейной защиты от замыканий на землю; уровень изоляции электрооборудования; выбор ОПН для защиты от перенапряжений; бесперебойность электроснабжения; допустимое сопротивление контура заземления подстанции; безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

Существующие режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированная (незаземленная); заземленная через дугогасящий реактор; заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный); глухозаземленная (в России не применяется).

Недостатки сетей с изолированной нейтралью.

Многолетний опыт эксплуатации позволяет говорить о существенных недостатках режима изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ, таких как: дуговые перенапряжения и пробой изоляции при однофазных замыканиях на землю; возможность возникновения множественных повреждений изоляции (одновременное повреждение изоляции нескольких фидеров); повреждения ТН (НТМИ, ЗНОЛ, ЗНОМ) при замыканиях на землю; сложность обнаружения места повреждения; неправильная работа релейных защит от однофазных замыканий на землю; опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю.

В связи с наличием такого количества недостатков режим изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ должен быть исключен, как это сделано в подавляющем большинстве стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии и др.

Режим заземления нейтрали сетей среднего напряжения 3-69 кВ в зарубежных странах.

В сетях среднего напряжения 3-69 кВ стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии, Азии режим изолированной нейтрали применяется крайне редко (в исключительных случаях).

В основном сети среднего напряжения 3-69 кВ работают с нейтралью заземленной через резистор или дугогасящий реактор.

Рекомендуемые к использованию в сетях 6-35 кВ режимы заземления нейтрали: через резистор (высокоомный или низкоомный), через дугогасящий реактор с шунтирующим низковольтным резистором.

Преимущества сетей с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор.

В сетях среднего напряжения 3-69 кВ европейских стран (Германия, Чехия, Швейцария, Австрия, Франция, Италия, Румыния, Польша, и др.) широко используется заземление нейтрали через дугогасящий реактор с шунтирующим низковольтным резистором. Такое техническое решение имеет следующие преимущества: отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю и соответственно потребителя; малый остаточный ток в месте повреждения (не более 1-2А); самоликвидация замыканий (особенно на воздушных линиях); возможность организации селективной автоматически действующей релейной защиты от однофазных замыканий на землю; исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов.

Высокоомное и низкоомное резистивное заземление нейтрали.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором суммарный ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) не превышает 10А. Как правило, однофазное замыкание на землю при таком режиме заземления нейтрали можно не отключать и защиты от замыканий на землю действуют на сигнал.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором суммарный ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) превышает 10А. Как правило, суммарный ток однофазного замыкания при этом режиме заземления нейтрали существенно превышает 10А, а именно достигает десятков и сотен ампер, что требует действия защит от замыканий на землю на отключение без выдержки времени (или малой выдержкой).

Выбор тока заземляющего резистора.

Низкоомное заземление нейтрали может выполняться в сетях с любым емкостным током, при этом активный ток I_R , создаваемый резистором, должен быть больше емкостного тока сети. Как правило, активный ток, создаваемый резистором, превышает емкостный ток сети не менее чем в 2 раза. Выбор тока, создаваемого резистором, при низкоомном заземлении нейтрали является разумным компромиссом между двумя противоположными задачами: повышением чувствительности защит от замыканий на землю за счет увеличения тока однофазного замыкания и ограничением тока в месте повреждения (однофазного замыкания) для снижения объема разрушения оборудования.

Преимущества и недостатки сетей с нейтралью, заземленной через резистор.

Преимущества: отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю (только для высокоомного заземления нейтрали); отсутствие дуговых перенапряжений; простая реализация релейной защиты; исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов; уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц (при низкоомном заземлении нейтрали и быстром отключении).

Недостатки: увеличение тока в месте повреждения; необходимость отключения однофазных замыканий (только для низкоомного заземления нейтрали).

Режим заземления нейтрали - важный вопрос эксплуатации и проектирования.

Выбор режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ является исключительно важным вопросом при эксплуатации и проектировании сети.

От выбора режима заземления нейтрали зависит уровень аварийности в сети, правильная работа защит от замыканий на землю, автоматизация поиска поврежденного фидера и последствия от возникновения однофазных замыканий на землю.

Применение в сетях 6-35 кВ современного оборудования заземления нейтрали (дугогасящих реакторов с шунтирующими низковольтными резисторами и высоковольтных резисторов заземления нейтрали) позволяет существенно повысить надежность работы сетей и снизить аварийность при однофазных замыканиях на землю.

Литература

Режимы заземления нейтрали [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru>, свободный.– Загл. с экрана.

УДК 621

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ МОЩНОСТЬЮ 1200 МВт

Малиновский П.С.

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

Турбогенераторы серии ТЗВ – турбогенераторы с полным водяным охлаждением обмоток статора, ротора и активной стали сердечника статора типа ТЗВ (три воды).

По влиянию на безопасность генератор и его вспомогательные системы относятся к 4 классу по НП-001-97 (ОПБ-88/97, классификационное обозначение 4Н), по сейсмостойкости – ко 2 категории сейсмостойкости по НП-031-01.

Климатическое исполнение турбогенератора по ГОСТ 15150-У (для работы в районах с умеренным климатом), категория размещения – 3, тип атмосферы – 2 (условно-чистая). Окружающая среда – невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенная водяными парами и токопроводящей пылью. Концентрация инертной пыли не должна превышать 10 мг/м³. Степень загрязнения по ПУЭ – 2 (по ГОСТ 9920-89-П).

Система охлаждения турбогенератора водяная двухконтурная, с циркуляцией охлаждающего дистиллята по замкнутому контуру. Первый контур включает в себя цепи охлаждения обмотки статора и охладителей нажимных колец. Второй контур обеспечивает охлаждение обмотки возбуждения и демпферной обмотки, сердечника статора, посадочных мест лабиринтных уплотнений вала.

Корпус статора заполнен воздухом при давлении, близком к атмосферному. Система вентиляции внутреннего пространства генератора обеспечивает непрерывный поток воздуха через статор и зазоры в лабиринтных уплотнениях, предотвращая попадание влаги или увлажненного воздуха внутрь статора из сливных камер. Для поддержания температуры и влажности воздуха внутри генератора в необходимых пределах при длительном останове и исключения увлажнения изоляции установлены электронагреватели.

Подшипник турбогенератора со стороны возбудителя и подшипники возбудителя предусматривают применение жидкости ОМТИ и снабжаются резервными емкостями, предназначенными для обеспечения подшипников смазкой при кратковременных перерывах питания и в случае аварийного останова турбогенератора при отказе всех электронасосов смазки. Система смазки подшипников генератора общая с турбиной, принудительная.

Применение полного водяного охлаждения и отказ от водорода, заполняющего внутреннее пространство генератора, является важнейшим преимуществом, исключающим возможность взрыва и возгорания.

Статор имеет две трехфазных обмотки по схеме «звезда», которые сдвинуты относительно друг друга на 30 электрических градусов. Каждая из обмоток имеет две параллельные ветви.

Система возбуждения – бесщеточная диодная. Бесщеточный возбудитель состоит из синхронного генератора обращенного типа и вращающегося выпрямителя.

Автоматический регулятор возбуждения построен по принципу подчиненного регулирования.

Внешний контур регулирования напряжения генератора замыкается через автоматический регулятор напряжения генератора, реализующий пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования.

Внутренний контур регулирования тока возбуждения возбудителя замыкается через регулятор напряжения возбуждения, реализующий пропорционально-интегральный закон регулирования. Внутренний контур имеет ограничение, предотвращающее недопустимое повышение напряжения на обмотке ротора.

Турбогенератор с системами обеспечения снабжен необходимыми измерительными и нормирующими датчиками и преобразователями для передачи в АСУТП энергоблока для обеспечения технологического контроля.

При расчете токов короткого замыкания в цепи обмоток шестифазного генератора необходимо учитывать, что параметры обмоток, имеющих магнитную связь по путям магнитных потоков рассеяния, зависят от положения точки КЗ в схеме.

В ходе научно-исследовательской работы были рассмотрены особенности конструкции, основные и дополнительные технические данные, а также основные преимущества турбогенераторов ТЗВ-1200, которые являются развитием серии турбогенераторов с полным водяным охлаждением – высокоэффективных пожаробезопасных турбогенераторов для атомных электростанций, не имеющих аналогов в мировом атомном энергомашиностроении.

Литература

Силовые машины [Электронный ресурс] / Турбогенераторы с полным водяным охлаждением (ТЗВ). – Режим доступа: [http:// power-m.ru/products/turbogenerators/tg_3.aspx](http://power-m.ru/products/turbogenerators/tg_3.aspx), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ., исп.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VISSIM

Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Цифровые системы – это системы с цифровыми сигналами на входе и выходе. Фильтры являются основой для большинства приложений обработки сигналов. Типичное назначение – это извлечение или вырезка области спектра входного сигнала или определенной частоты.

Цифровые фильтры, в силу дискретной природы ЦВМ, принимают сигналы к обработке только в дискретные моменты времени. Информация о промежуточных значениях сигнала теряется. Таким образом, обрабатываемая цифровым фильтром входная непрерывная функция становится решетчатой. Выходное значение цифрового фильтра есть взвешенная сумма текущего и нескольких предыдущих значений как входного сигнала, так (в случае БИХ-фильтров) и предыдущих значений выходного сигнала.

VisSim имеет библиотечный блок «регистрЗадержки (1/Z)», который позволяет на основе расчетов во временном домене реализовать цифровые фильтры по любой из существующих альтернативных блок-схем. При проектировании собственных блок-схем цифровых фильтров следует следовать простому правилу: если в данный момент на входе последовательной цепочки блоков «регистрЗадержки (1/Z)» вы имеете значение координаты $x[k]$, то на последующих выходах присутствуют предыдущие ее значения $x[k-1]$, $x[k-2]$, ..., $x[k-m]$.

Нерекурсивные КИХ-фильтры имеют конечную «память». То есть после снятия входного сигнала переходный процесс завершится за конечное число периодов дискретизации, в отличие от БИХ-фильтров, которым свойственно асимптотическое затухание вследствие зависимости от всех предыдущих выходных значений.

При проектировании БИХ-фильтра возможно использовать аналоговые прототипы: фильтры Баттерворта, Бесселя, Чебышева или инверсный Чебышева. Генерация БИХ-фильтра состоит в том, что VisSim, согласно заданию, вычисляет полиномиальные коэффициенты числителя и знаменателя его передаточной функции (ПФ).

Синтез дискретного (цифрового) КИХ-фильтра – это задача поиска коэффициентов z-ПФ из взвешенной окном (урезанной до конечной длины) импульсной характеристики непрерывного прототипа, которая решается посредством алгоритма множественного обмена Ремеза. VisSim может синтезировать коэффициенты ПФ КИХ-фильтра, как для дискретного времени, так и для непрерывного. Генерация КИХ-фильтра состоит в том, что VisSim, согласно заданию, вычисляет полиномиальные коэффициенты числителя и знаменателя его передаточной функции (ПФ).

Используя блок «передаточнаяФункция», вы можете выполнять проектирование БИХ-фильтров, используя в качестве прототипов аналоговые или КИХ-фильтры.

УДК 621.316.99

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Жуковский Е.С.

Научный руководитель – ассистент Климентионук А.К.

Элегаз - бесцветный, нетоксичный, негорючий тяжёлый газ, при нормальных условиях он в 6 раз тяжелее воздуха. Высокие изоляционные свойства элегаза были положены в основу создания комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией.

Основным преимуществом КРУЭ по сравнению с открытыми распределительными устройствами является его компактность.

Эти и другие преимущества КРУЭ способствовали его широкому применению при строительстве и реконструкции подстанций в России и за рубежом.

Первая трансформаторная группа вместе с КРУЭ была включена 7 октября 1970 года.

За первые 10 месяцев быстродействующими разъединителями были выполнены 56 эксплуатационных переключений, что подтвердило, что КРУЭ работает надежно и безопасно в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями.

Нечувствительность к загрязнениям, надежность механических приводов и целесообразная конструкция позволяют длительное время эксплуатировать КРУЭ без персонала.

Повреждения высоковольтных трансформаторов от коммутационных перенапряжений, относительно новая проблема в российской энергетике.

В 2002 г. в России было принято решение о применении в схеме выдачи мощности Бурейской ГЭС на напряжении 500 кВ оборудования типа КРУЭ.

Вместо схемы три выключателя на два присоединения была применена схема шестиугольника (шесть выключателей на шесть присоединений), что позволило значительно снизить затраты на закупку оборудования КРУЭ.

Соединение блочного трансформатора с оборудованием КРУЭ 500 кВ необходимо было выполнить только кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена длиной более 900 метров.

В 2005 году четвертый блок генератор-трансформатор в составе объединенного блока был включен в сеть 500 кВ, а в 2006 году произошло его аварийное отключение.

Завод считал, что наиболее вероятной причиной повреждения являлись коммутационные перенапряжения.

ОАО «Мосэнерго» на протяжении всего своего периода развития внедряло, и было первопроходцем во многих передовых решений в энергетике России. Ярким примером этого является развитие и освоение высоковольтного электротехнического оборудования с элегазовой изоляцией.

Разработчиком и изготовителем первого отечественного промышленного КРУЭ было НПО «Электроаппарат»

На данный момент в Московском регионе работает уже порядка 40 подстанций с КРУЭ 110 кВ и 220 кВ, в том числе 18 подстанций с отечественным оборудованием.

Использование КРУЭ 110 кВ и 220 кВ позволяет сэкономить площадь помещения примерно в 10 раз, а объем в 15 раз.

ПАО «КИЕВЭНЕРГО» завершило строительство стратегически важного объекта, как для столицы Украины, так и отечественной энергетики в целом, КРУЭ 330 кВ.

В качестве производителя и поставщика высоковольтного оборудования для КИЕВЭНЕРГО выступила швейцарская компания АВВ.

Первым опытом сотрудничества КИЕВЭНЕРГО с АВВ был проект установки высоковольтного элегазового оборудования на подстанции «Центр» 110/10 кВ в 2002 году.

В Украине КРУЭ различных типов и классов напряжения установлены на Алчевском металлургическом комбинате, «Полтаваоблэнерго», «Симферопольская ТЭЦ», «Ивано-Франковск цемент», «Волынь цемент», Днестровской ГЭС.

Литература

Балаков Ю. Н. Конструкции и схемы КРУЭ: учебное пособие по курсу «Проектирование электростанций» / Ю. Н. Балаков, А. Т. Шевченко, Московский энергетический институт, 1993. – 59 с.

УДК 621.314.224

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Ничипорчик Д.Г.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Модель – некоторый объект, с помощью которого исследуются свойства оригинала и находящегося во взаимозначном соответствии с ним и более доступном для изучения.

Она достоверно отображает некоторые свойства оригинала, подлежащие изучению.

Модель должна быть наглядной, простой и доступной для изучения.

Трансформаторы тока (ТТ) в неустановившемся режиме существенно искажают информацию о состоянии защищаемого объекта, подводимую к устройству защиты.

Основным фактором, определяющим искажение вторичного тока ТТ, является его ток намагничивания.

Математическое описание ТТ, входящее в состав комплексных математических моделей РЗ, предназначенных для оценки их ожидаемого поведения в переходных режимах защищаемого объекта, должно составляться с учетом реальных условий работы ТТ и их конструктивных особенностей.

Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукции при сравнительно высокой отдаваемой мощности.

Для питания токовых цепей РЗ применяются ТТ простейшей конструкции без каких-либо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки.

Учет активных потерь в магнитопроводе оказывает качественное влияние на форму кривой вторичного тока, приближая ее к реальной осциллограмме, получаемой экспериментальным путем.

Математическое описание схемы содержит три дифференциальных уравнения равновесия ЭДС в контурах вторичных обмоток и уравнения равновесия МДС в сердечниках ТТ.

Трехфазные группы ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп ТТ, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи.

В защитах синхронных генераторов высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин - более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду.

Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератор-трансформатор содержат несколько групп ТТ с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит целесообразно использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединений каждой трехфазной группы ТТ. Математическая модель шокных цепей содержит дифференциальные уравнения равновесия ЭДС в контурах схемы, алгебраические уравнения балансов МДС в сердечниках ТТ токов в узлах и характеристики намагничивания.

С целью сокращения объема исходной информации сопротивления дифференциальной цепи и характеристики намагничивания сердечников ТТ, их геометрические размеры в различных фазах каждой трехфазной группы приняты одинаковыми.

Литература

Романюк, Ф. А. Новаш, В. И. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 173 с.

УДК 621.3.022

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Салобуто С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Заземление нейтрали через резистор имеет несомненные достоинства, подтвержденные мировой практикой и опытом:

- полное устранение феррорезонансных явлений;
- возможность построения простых селективных защит от ОЗЗ.

К недостаткам резистивного заземления нейтрали следует отнести:

- увеличение тока замыкания на землю;
- появление на подстанции греющегося оборудования (резистора мощностью 30–400 кВт).

Опыт работы показывает, что при сохранении традиционных способов заземления нейтрали существенного «прорыва» в этой области едва ли можно ожидать. Принципиально новые возможности появляются при заземлении нейтрали через резистор. При этом в некоторых случаях (при больших, порядка десятков ампер, емкостных токах сети) резистивное заземление совмещают с включением в нейтраль дугогасящего реактора.

В целом ненаправленные токовые защиты от ОЗЗ могут быть эффективны лишь в установках с большим количеством подключенных к секции присоединений, каждое из которых имеет малый емкостный ток. Тогда отстройка от этого тока не приведет к недопустимому снижению чувствительности. Этот случай характерен, например, для цехов предприятий с большим количеством маломощных электродвигателей, включенных через короткие кабели.

Если в такой сети установлен дугогасящий реактор, то для обеспечения эффективного действия защиты от ОЗЗ целесообразно параллельно этому реактору включить заземляющий резистор, причем ток, протекающий по резистору при ОЗЗ, должен превышать уставку самой «грубой» защиты в 1,5–2 раза. В этом случае ненаправленные токовые защиты могут обеспечить необходимую селективность и высокую чувствительность при ОЗЗ.

Установка в сети заземляющего резистора облегчает условия выбора уставок и улучшает селективность работы релейных защит от ОЗЗ.

Наибольший эффект установка резистора дает в сетях с малыми токами ЗИО в минимальном режиме, т.е. когда по каким-то причинам (ремонт, необходимость технологического цикла и т.д.) некоторые присоединения в сети отключаются и ее емкостный ток уменьшается. В следующем номере журнала мы расскажем об особенностях применения более совершенных защит от ОЗЗ.

Области применения ненаправленных токовых защит от замыканий на землю: это кабельные сети со значительным числом присоединений к каждой секции, причем каждое из этих присоединений характеризуется относительно малым емкостным током. Такой случай характерен, например, для внутривоздушных сетей 6–10 кВ. Использование заземляющих резисторов существенно расширяет возможности эффективного использования ненаправленных токовых защит в таких сетях даже при наличии в сети дугогасящего реактора.

В настоящее время на отечественном рынке представлено значительное количество устройств направленной защиты от ОЗЗ, которые могут быть использованы в резистивно-заземленных сетях. Наибольшее распространение получили направленные токовые защиты, реагирующие на составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности, с фазовыми характеристиками двух типов. Фазовой характеристикой первого типа обладает, например, защита типа УЗЛ производства НГТУ. Такие защиты реагируют как на активную, так и на емкостную составляющие токов ОЗЗ.

Фазовой характеристикой второго типа обладают защиты, реагирующие только на активную (или только на емкостную) составляющую тока нулевой последовательности. Эти защиты также содержатся в некоторых импортных микропроцессорных терминалах. При выборе типа защиты следует иметь в виду, что характеристика первого типа обеспечивает работоспособность защиты не только в нормальном режиме – при наличии в сети заземляющего резистора, но и при выходе последнего из строя и работе сети в режиме с изолированной нейтралью. Защита при этом будет работать хуже, но в принципе останется работоспособной. Характеристика второго типа в большей степени соответствует самой идее использования заземляющего резистора – защита срабатывает только в том присоединении, по которому протекает активный ток этого резистора, т.е. идеально выявляет поврежденное присоединение.

УДК 621.311.1:621.316

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА В СОСТАВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Бобрик Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) появились на рынке в привычном сегодня виде около 20 лет тому назад и за прошедшее время серьезно потеснили все остальные виды реле защиты. Принцип действия и устройство современных МУРЗ очень сильно отличаются от защит других видов и имеют целый ряд специфических особенностей. Целесообразна установка дуговой защиты в КРУ.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ). Требованию абсолютной селективности отвечают токовые дифференциальные защиты и «логические защиты шин» (ЛЗШ) секций, в зону действия, которых входят сборные шины и выключатели. «Мертвой» зоной этих защит являются отсеки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и кабельной разделки. Клапанная дуговая защита как механическое устройство реагирует не на дугу, а на последствия дуги, и будет работать при достижении давления газов, достаточного для срабатывания, поэтому имеет определенные недостатки, – в частности недостаточную чувствительность.

Широко применяемая в ячейках фототиристорная дуговая защита (ФДЗ). В конструкции некоторые производители применяют в своих ячейках оптоволоконной дуговой защиты (ОДЗ). Живучесть ячейки обеспечивается тем, что время срабатывания ОДЗ не более 8 мс при минимальном токе дуги 160 А. Повреждения при таком быстродействии – как механические, так и прожиг – столь малы, что возникла проблема определения места повреждения в ячейке.

Реле дуговых защит типа РДЗ предназначены для быстродействующего отключения комплектных распределительных устройств (КРУ) при возникновении коротких замыканий (КЗ) внутри отсеков КРУ и сопровождаемых открытой электрической дугой. Реле способны выполнять функции централизованной защиты. Принцип действия предлагаемых реле основан на контроле светового потока (освещенности) внутри отсеков ячеек КРУ. Реле имеют встроенный тестовый контроль, обеспечивающий проверку измерительного органа, соединительных проводов и фотодатчиков.

Устройства дуговой защиты с оптоволоконным датчиком предназначены для ускоренного отключения секции комплектных распределительных устройств (КРУ) 6-35 кВ при возникновении в них электрического дугового замыкания путем воздействия на вводные и секционные выключатели. В качестве чувствительного элемента используются волоконно-оптические датчики (ВОД). Чувствительность ВОД к току дугового короткого замыкания на длине ВОД (700 ± 50) мм и на расстоянии (500 ± 50) мм от дуги, составляет не более 500 А.

ЭТЮД – высокоточная оптоволоконная микропроцессорная система защиты комплектных распределительных устройств низкого, среднего и высокого напряжения от дуговых коротких замыканий. Модельный ряд ДЗ «Этюд» представлен следующими изделиями: шкафом управления ЭТЮД-М с блоками Selekt-M для построения схем ДЗ магистрального типа для защиты крупных РП (блок Selekt-M может использоваться автономно для защиты отдельных потребителей или малых РП), блоком Selekt-L для защиты отдельных потребителей, токовым блоком МТ-Э.

В системе REA использован запатентованный принцип распределенного улавливания света по всей длине оптического кабеля, встроенного в корпус оборудования или смонтированного на контролируемом участке электросети, что позволяет мгновенно обнаружить возникновение дуги в любой точке защищаемой системы. В качестве светочувствительного датчика используется длинный прочный, не требующий защитного

экрана, оптоволоконный кабель. Он распределен по защищаемому пространству и реагирует на световое излучение от вспыхнувшей дуги, независимо от места ее возникновения.

Дуговая защита «ОВОД-МД» – это устройство нового поколения устройств изготовленных на основе волоконной оптики и микропроцессорной техники, предназначено для защиты шкафов комплектных распределительных электрических подстанций 0,4–35 кВ при возникновении в них коротких замыканий, сопровождаемых открытой электрической дугой. Устройство представляет собой стальной шкаф с передней дверцей. Волоконно-оптические датчики (линзы), установленные в отсеках высоковольтных шкафов и имеющие практически круговую диаграмму направленности, фиксируют световую вспышку от электрической дуги и передают ее по оптическому волокну в блок детектирования света устройства. При этом устройство дуговой защиты формирует сигнал на отключение высоковольтного выключателя или отключает выключатель ввода (высокого напряжения от распреустройства), тем самым, защищая оборудование от разрушения. В зоне действия электрической дуги находятся только пассивные компоненты (датчик и волоконно-оптический кабель), обладающие абсолютной невосприимчивостью к электромагнитным помехам.

Устройство VAMP 120 представляет собой современный прибор защиты от электрической дуги, предназначенный для систем распределения электроэнергии. VAMP 120 является автономным и компактным решением для систем, не требующих измерения тока. Устройство может получать информацию о токе дугового замыкания с помощью дискретного входа от любого устройства релейной защиты или других устройств дуговой защиты.

Система VAMP 321 включает в себя все функции дуговой защиты, такие как контроль тока и детектирование возникновения дугового замыкания. VAMP 321 имеет модульную конструкцию. Она оптимизирована для использования в электроустановках низкого и среднего напряжения.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЗАКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Санюк В.Д.

Руководитель – Кисляков А.Ю

Распределительное устройство – это электроустановка, предназначенная для приема и распределения электрической энергии, содержащая электрические аппараты, шины и вспомогательные устройства.

Если распределительное устройство расположено внутри здания, то оно называется закрытым. Закрытые распределительные устройства (ЗРУ) сооружаются обычно при напряжении 3–20 кВ. При больших напряжениях, как правило, сооружаются открытые РУ. Однако при ограниченной площади под РУ или при повышенной загрязненности атмосферы, а также в районах Крайнего Севера могут применяться ЗРУ на напряжения 35–220 кВ.

Электрические аппараты и токоведущие части любой электроустановки должны быть выбраны так, чтобы могли надежно работать как в нормальном режиме работы, так и при отклонении от него.

Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей электроустановок производят по условиям работы в нормальном режиме и проверяют на термическую и динамическую устойчивость при коротком замыкании.

ЗРУ 6–10 кВ с одной системой шин без реакторов на отходящих линиях широко применяются в промышленных установках и городских сетях.

В ЗРУ применяются коммутационные аппараты внутренней установки. В настоящее время распространены вакуумные и элегазовые выключатели фирм NEAG, ABB.

В данной работе были рассмотрены конструкции закрытых распределительных устройств и особенности проектирования электрической части ЗРУ, также рассмотрены вопросы выбора и проверки коммутационных аппаратов и токоведущих частей распределительных устройств с иллюстрацией конкретных примеров.

Литература

1 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.

2 Наяшков, Е.Ф., Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций / Е.Ф. Наяшков, А.А. Васильев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 411 с.

УДК 621.316.99

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Лукьянюк М.С.

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

Анализ методов расчета электродинамической стойкости электроустановок с гибкими проводниками.

Дифференциальный принцип позволяет получить точную оценку смещений и тяжений проводов в функции пространства и времени.

Необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ.

Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника, что регламентировано в нормативных документах СИГРЭ.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника.

Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил.

Максимальные расчетные отклонения проводов определяются из траекторий их движения при КЗ в точках максимального размаха колебаний.

Необходимо также проверять возможность недопустимого сближения отклоненных фаз с заземленными конструкциями РУ.

Допустимые тяжения проводов определяются допустимыми механическими напряжениями в них.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ.

В разработанном на кафедре «Электрические станции» БНТУ методе расчета провод представляется гибкой упругой нитью.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ были разработаны компьютерные программы EDY4 и BUSEF, которые по своим характеристикам не уступали зарубежным аналогам.

Провода и гирлянды изоляторов описываются уравнениями гибкой упругой нити с равномерно-распределенной по длине массой. Опорные конструкции представлены в виде сосредоточенной массы, закрепленной на пружинах, жесткости которых определяются жесткостями стойки и траверсы.

Разработанный метод численного решения дифференциальных уравнений по неявной схеме был использован при составлении компьютерной программы BUSEF(IS), которая предназначена для расчета динамики проводов по уравнениям гибкой упругой нити с малой стрелой провеса.

В общем виде математическое описание движения гибких проводников производится по точным уравнениям упругой нити.

Более точным способом выбора расчетных сочетаний комбинаций параметров КЗ и геометрических характеристик пролетов воздушных ЛЭП является их определение из решения уравнений динамики проводов, записанных в безразмерной форме, что позволяет определить критерий динамического подобия решений гиперболических уравнений динамики гибкой упругой нити в режиме КЗ. С помощью критерия динамического подобия обобщены результаты частных численных решений, полученных по компьютерной программе BUSEF для проводов, закрепленных в одной горизонтальной плоскости.

При выборе расчетного вида КЗ, следует отметить, что максимальные отклонения, а, соответственно, и сближения проводников могут наблюдаться как при двухфазном, так и при

трехфазном КЗ. Влияющих факторов очень много. Поэтому в каждом конкретном случае для определения расчетного вида КЗ необходимо проводить вычислительный эксперимент.

Анализ методов расчёта электродинамической стойкости токоведущих конструкций с гибкими проводниками выявил существование двух принципов оценки недопустимого сближения фаз и максимальных тяжений в них: дифференциального и интегрального (энергетического).

Проанализирован численный векторно-параметрический метод расчёта электродинамической стойкости проводов воздушных ЛЭП, использующий неявную схему, обладающей абсолютной устойчивостью решений, и позволяющий проводить расчёты электродинамической стойкости с учётом динамики опорных конструкций ЛЭП и других конструктивных элементов.

Получено дополнительное условие электродинамической стойкости проводов ЛЭП по допустимой длине пролёта с использованием разработанной диаграммы отклонений проводов.

Оценка электродинамической стойкости гибких проводников электроустановок производится по двум условиям: недопустимого сближения фазных проводников по критерию электрической прочности воздушного промежутка и недопустимых максимальных тяжений проводов при КЗ.

Максимальные тяжения в проводах наблюдаются, как правило, при трехфазном КЗ. Его и следует принять в качестве расчетного вида при определении механической прочности элементов токоведущих конструкций с гибкими проводниками.

Литература

Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко. – Минск: Изд-во БНТУ, 2008. – 32 с.

УДК 621.316.99

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И БИОСФЕРА

Боков Е.С.

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

Атомная электростанция (АЭС) – ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используются ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками.

Принцип работы атомной электростанции очень прост – это обычное преобразование тепловой энергии в электрическую. Иными словами, АЭС работают по тому же принципу, что и обычные тепловые электростанции, с одним лишь отличием – для нагрева воды используется энергия, получаемая при распаде ядер урана.

Огромным преимуществом АЭС является её относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ, в которые входят сернистый газ оксиды азота оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и золовая пыль, на 1000 МВт установленной мощности составляют от примерно 13000 тонн в год на газовых и до 165000 тонн на пылеугольных ТЭС.

Техногенные влияния на окружающую среду при строительстве и эксплуатации атомных электростанций разнообразны. Обычно говорят, что имеются физические, химические, радиационные и другие факторы техногенного влияния эксплуатации АЭС на объекты окружающей среды. Наиболее существенные факторы локальное механическое влияние на рельеф: при строительстве стек поверхностных и грунтовых вод, которые содержат химические и радиоактивные компоненты, изменение характера землепользования и обменных процессов в непосредственной близости от АЭС, изменение микроклиматических характеристик прилегающих районов.

Чтобы полностью устранить радиационную опасность АЭС, их ядерные реакторы снабжают практически безотказной аварийной защитой; резервными системами охлаждения, срабатывающими при внезапном повышении температуры; устройствами, удерживающими осколки радиоактивных веществ; запасными резервуарами на случай выброса радиоактивных газов. Все это при надлежащем уровне надёжности оборудования и его эксплуатации приводит к тому, что атомные электростанции практически не оказывают загрязняющего воздействия на окружающую среду.

АЭС оказывает на окружающую среду - тепловое, радиационное, химическое и механическое влияние. Для обеспечения безопасности биосферы нужны необходимые и достаточные защитные средства. Под необходимой защитой окружающей среды будем понимать систему мер, направленных на компенсацию возможного превышения допустимых значений температур сред, механических и дозовых нагрузок, концентраций токсикогенных веществ в экосфере. Достаточность защиты достигается в том случае, когда температуры в средах, дозовые и механические нагрузки сред, концентрации вредных веществ в средах не превосходят предельных, критических значений.

Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ) разработана международная шкала событий на АЭС, включающая 7 уровней. По ней авария в США относится к 5 уровню (с риском для окружающей среды), в Великобритании – к 6 уровню (тяжелая), Чернобыльская авария – к 7 уровню (глобальная).

Академик Анатолий Александров считал, что «ядерная энергетика крупных масштабов явится величайшим благом для человечества и разрешит целый ряд острых проблем».

США и Япония ведут разработки мини-АЭС, с мощностью порядка 10-20 МВт для целей тепло- и электроснабжения отдельных производств, жилых комплексов, а в перспективе – и индивидуальных домов. С уменьшением мощности установки растёт

предполагаемый масштаб производства. Малогабаритные реакторы (см., например, Hyperion АЭС) создаются с использованием безопасных технологий, многократно уменьшающих возможность утечки ядерного вещества.

Литература

www.rosatom.ru, www.myaatom.ru

УДК 621.314.224

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Мигус Н.А., Будников В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Главная особенность цифрового программно-аппаратного комплекса подстанции (ПАК ПС) - это оцифровка всего набора сигналов и команд, свойственных основному электрооборудованию и устройствам контроля, управления и защиты.

Основой функционирования всех будущих цифровых программно-аппаратных комплексов на объектах энергетики по всему миру призван стать международный стандарт МЭК-61850.

В МЭК 61850 регламентируются вопросы передачи информации между отдельными устройствами и формализации описания схем первичных цепей, схем защиты, автоматики и измерений, конфигурации устройств

Для быстрой передачи информации о событиях на подстанции, например, команды на отключение, сигнала предупреждения используется механизм связи GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), определенный протоколом МЭК 61850.

Состав устройств МУ определяется составом основного электрооборудования: цифровые трансформаторы тока и напряжения (ЦТТ, ЦТН), МУ выключателей, МУ трансформаторного оборудования, МУ разъединителей и заземляющих ножей, МУ для КРУ 6 кВ, МУ для оборудования щитов постоянного тока (ЩПТ) и щитов собственных нужд (ЩСН) подстанции.

Сформированные мультиплексорами пакеты передаются по сети Ethernet (шине процесса) в устройства уровня присоединения.

Силовое оборудование оснащается набором цифровых датчиков электрических и неэлектрических величин, предназначенных для непрерывной самодиагностики его состояния.

Современные КРУЭ оснащаются встраиваемыми цифровыми трансформаторами тока и напряжения, а шкафы управления в КРУЭ позволяют устанавливать выносные УСО для сбора дискретных сигналов.

ПКЦ - программно-аппаратное ядро ЦПС, координирующее основные информационные потоки в ЦПС и автоматизирующее процессы принятия и реализации решений по управлению оборудованием ПС. Математическое описание схемы содержит три дифференциальных уравнения равновесия ЭДС в контурах вторичных обмоток и уравнения равновесия МДС в сердечниках ТТ.

Разработка собственного российского решения по Цифровой подстанции позволит не только развивать отечественное производство и науку, но и повысить энергобезопасность нашей страны.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп ТТ, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи.

В защитах синхронных генераторов высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин - более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду.

Шина процесса - совокупность активных и пассивных компонентов резервированной цифровой сети на основе волоконно-оптических каналов связи с технологией передачи Ethernet.

В случае повреждения оптического кабеля, по которому в упакованном виде будет передаваться информация, ранее передававшаяся по разным жилам нескольких контрольных кабелей, может произойти потеря управляемости и наблюдаемости сразу нескольких единиц электрооборудования.

Кроме этих основных особенностей шины процесса необходимо отметить, что от цифрового ПАК, в отличие от ПАК обычной современной подстанции, требуется питать цифровые ТТ и ТН, другие устройства типа МУ и активное сетевое оборудование, а это может существенно повлиять на надёжность.

Литература

Метапром [Электронный ресурс] межотраслевой промышленный портал. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.metarcom.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 62–2

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТОКОПРОВОДОВ

Карасёва В.В.

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

Токопроводы предназначены для передачи и распределения электроэнергии, как правило, в пределах одной электроустановки и состоят из шин, изоляторов, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций, а также могут иметь защитные кожухи (оболочки или экраны) и другие элементы.

По конструктивному исполнению различают токопроводы с гибкими и жесткими шинами.

По способу изготовления все токопроводы делятся на сборные и комплектные.

Надежность токопроводов обеспечивается нормированным запасом прочности их отдельных элементов с учетом условий окружающей среды, монтажа и эксплуатации. Токопроводы должны: соответствовать номинальному напряжению электроустановки и наибольшему рабочему току; быть термически стойкими, т. е. оставаться работоспособными при нагреве шин большими токами короткого замыкания (КЗ); электродинамически стойкими, т. е. обладать прочностью при механических воздействиях, обусловленных токами КЗ.

Степень надежности токопроводов должна соответствовать условиям их применения.

Критерием экономичности токопроводов служат затраты, определяемые капитальными вложениями на их сооружение, издержками, т. е. расходами на текущий и капитальный ремонт, заработную плату обслуживающего персонала, стоимость потерь энергии, а также ущербом от возможного перерыва питания из-за отказа токопровода.

Удобство монтажа и эксплуатации токопроводов обеспечивается простотой их конструкции, технологичностью изготовления, доступностью для осмотра и замены отдельных элементов и другими факторами.

Безопасность обслуживания токопроводов обеспечивается: надежностью их работы; выбором соответствующих расстояний от токоведущих частей до поверхности земли, заземленных конструкций, частей здания и ограждений; использованием защищенных шин (огражденных от прикосновения и попадания посторонних предметов сетками, коробами из перфорированных листов), экранированных проводников и заземлением экранов.

В качестве проводников в токопроводах используют гибкие и жесткие шины.

Изоляторы предназначены для крепления и изоляции шин, а также токоведущих частей аппаратов от земли и других частей электроустановок. В токопроводах выше 1 кВ наиболее широко применяют фарфоровые или стеклянные опорные, проходные и подвесные изоляторы.

Гибкие токопроводы связи, называемые также шинными мостами, обычно используют на подстанциях, а также на ТЭЦ для электрического соединения трансформаторов или генераторов с ЗРУ 6–10 кВ.

Жесткими открытыми шинными линиями 6–35 кВ выполняют открытые токопроводы генераторов (мощностью до 60 МВт включительно), токопроводы связи наружной установки между машинным залом и ЗРУ, а также между трансформатором связи и ЗРУ 6–10 кВ или ОРУ 35 кВ, жесткая ошиновка ЗРУ 6–10 кВ (реже ОРУ и ЗРУ 35 кВ); шинные мосты между секциями (полусекциями) сборных шин.

Экранированные генераторные токопроводы предназначены для электрического соединения генераторов мощностью 100 МВт (иногда 60 МВт) и выше с блочными трансформаторами и трансформаторами собственных нужд, а также нулевых выводов генератора.

Секции генераторных токопроводов стыкуют на прямолинейных участках, соединяя токоведущие шины сваркой. Болтовые соединения, предусмотренные только в местах подключения шин к генератору, трансформаторам, выключателям, разъединителям и разрядникам, должны обладать высокой надежностью, малым переходным сопротивлением и быть доступными для ревизии.

При прохождении тока по шинам и экранам выделяется теплота, которая отводится излучением (от нагретых к холодным телам) и естественной конвекцией (естественной циркуляцией воздуха).

Принудительное охлаждение целесообразно использовать в генераторных токопроводах, передающих мощность не менее 500–800 МВт.

Литература

Долин А. П. Современные токопроводы. – М.: Высшая школа, 1998.

УДК 621.311 (075.8)

ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Григорьев Р.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Расчет электродинамических сил ведется обычно либо на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем либо по изменению запаса магнитной энергии системы.

Расчет электродинамических сил на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем.

Возьмем систему из двух произвольно расположенных проводников обтекаемых токами. Вычисляем силу в ньютонах.

Расчет электродинамических сил по изменению запаса электромагнитной энергии контуров.

Электромагнитное поле вокруг проводников и контуров с током обладает определенным запасом энергии.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Для решения уравнений необходимо обеспечить совпадение мгновенных величин распределенных ЭДУ, имеющих четыре составляющие, в том числе пульсирующие с частотами 50 и 100 Гц.

Принимаем, что эти силы равномерно распределены по пролету и действуют в горизонтальной плоскости.

Эквивалентирование ЭДУ производится с помощью интегрального критерия КЗ, импульса ЭД.

Электродинамические силы между взаимноперпендикулярными проводниками

На первом этапе считаем, что концы проводов жестко закреплены на опорах и неподвижны при КЗ, для всех частных решений краевые условия одинаковы.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Приведенные формулы для электродинамических сил применимы не только к одному витку но и к обмоткам с любым числом витков p занимающим данное сечение.

Рассмотрим силы действующие между параллельными проводниками сначала при однофазном токе.

Силу f можно представить как сумму двух составляющих: постоянной и переменной меняющейся с двойной частотой по закону косинуса. Так как косинус угла принимает значения от +1 до -1 то сила будет изменяться

Силы, действующие на проводник будут такими же, как и силы, действующие на проводник 1, но обратными по направлению.

Расчет электродинамических сил ведется обычно либо на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем либо по изменению запаса магнитной энергии системы.

Расчет ведется на максимальное усилие получаемое при ударном токе.

Литература

Кузнецов Г. Н. Электродинамические усилия в токоведущих частях электрических аппаратов и токопроводах/ И. Ф. Кузнецов, Г. Н. Цицакин; Ленингр.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.

УДК 621.316.99

ЦИФРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Исаков Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Основные достоинства и преимущества оптических трансформаторов тока по сравнению с их электромагнитными аналогами заключаются в возможности масштабного преобразования и измерения как переменного, так и постоянного или импульсного тока различных уровней напряжений, интеграции в измерительные и информационные системы с использованием различных интерфейсов – аналоговых (по напряжению, току, унифицированному токовому сигналу), дискретных (по частоте, коду) и цифровых (с передачей цифровых результатов измерений) – и исключением влияния вторичной нагрузки на процессы измерения, которое характерно для электромагнитных изделий.

Эти преимущества являются следствием применения в рассматриваемых изделиях маломощных поляризованных световых сигналов, распространяющихся в оптическом волокне, помещенном в магнитное поле измеряемого тока, бесконтактного воздействия поля на данные сигналы в виде эффекта Фарадея и электронной цифровой обработки результатов измерений поворота плоскости поляризации.

Главным чувствительным элементом любого оптического трансформатора тока или оптического преобразователя тока, существенно влияющим на его основные технические и метрологические параметры, является оптическое волокно – волокно для передачи световой энергии и оптических сигналов.

Конструкция оптического волокна представляет собой цилиндрическое стеклянное волокно в защитной оболочке, световедущая жила которого – сердцевина — выполнена из сверхчистого кварцевого стекла и окружена оболочкой из другого стекла или полимера с меньшим показателем преломления. Вследствие этого на поверхности раздела сердцевины и оболочки лучи света, падающие под соответствующими углами, подвергаются полному внутреннему отражению. Благодаря такому свойству оптическое волокно обеспечивает возможность передачи световой волны на большое расстояние без промежуточного усиления и с минимальными потерями энергии.

Типичная схема оптического трансформатора тока содержит чувствительный элемент в виде нескольких витков оптического волокна, помещенных в жесткую защитную оболочку из немагнитного материала, – токовую головку для трансформатора тока или измерительную петлю для преобразователя тока и электронно-оптический блок, соединяемый с чувствительным элементом непосредственно или через оптический кросс.

Электронно-оптический блок генерирует с помощью встроенного лазера и поляризатора на своем оптическом выходе монохроматический циркулярно поляризованный световой сигнал, направляемый по поддерживающему поляризацию оптического волокна на вход чувствительного элемента.

Измерительная информация может быть получена на выходе электронно-оптического блока для дальнейшего использования в аналоговом или дискретном виде.

Следует отметить, что аппаратные, алгоритмические и программные решения в конкретных оптических трансформаторах тока всех производителей являются, как правило, коммерческой тайной, что обусловлено значительными затратами на разработку этой новейшей техники, большой конкуренцией на мировых рынках высоких технологий и высокой стоимостью самих изделий.

Литература

- 1 Правила устройства электроустановок, 7-е изд. М., Энергосервис, 2003.
- 2 Правила устройства электроустановок, 6-е изд. М., Энергоатомиздат, 1986.
- 3 СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика, Госстрой СССР, ЦНТП Госстроя СССР, М., Стройиздат, 1983.

4 Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ, М., 2005.

5 ГОСТ Р50254-92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания, М., Изд-во стандартов, 1993.

6 ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний, М., Изд-во стандартов, 1990.

УДК 621.3.022

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Кулявец Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Проблемы, связанные с несимметрией нагрузок в схемах электроснабжения, возникли еще на ранней стадии развития энергетики. Выход из сложившегося положения был предложен Фортестью в 1918 году. Он создал новый метод расчёта токов и напряжений при несимметричных режимах в трёхфазной цепи переменного тока, который впоследствии получил название метода симметричных составляющих.

В последующие годы метод был успешно использован при разработке целого класса устройств релейной защиты, в которых применены специальные фильтры симметричных составляющих напряжений или токов.

В основе метода симметричных составляющих лежит представление, что любая несимметричная система векторов может быть показана в виде трёх симметричных трёхфазных систем векторов – прямой, обратной и нулевой последовательностей, называемых симметричными составляющими исходной несимметричной системы.

Любой из векторов симметричной трёхфазной системы может быть выражен с помощью вектора другой фазы той же системы, если воспользоваться вспомогательным оператором a . Оператор a называют ещё фазовым множителем, так как умножение любого вектора на a означает поворот этого вектора на угол 120 градусов против часовой стрелки. Благодаря этому можно разложить известную несимметричную систему векторов A, B, C на симметричные составляющие.

Для создания фильтров симметричных составляющих используют возможность реализации электрическими средствами приведенных в первом пункте формул разложения, с помощью которых можно вычислить любую из симметричных составляющих несимметричной системы векторов.

Формула для выявления вектора составляющей нулевой последовательности не требует дополнительного поворота фазных векторов исходной несимметричной системы. Поэтому реализация ее электрическим способом получается довольно просто.

Выделение составляющих прямой и обратной последовательностей электрическими средствами, основываясь непосредственно на формулах разложения, является довольно сложной задачей, так как при этом нужно суммировать вектора, предварительно повернутые на угол 120 градусов против или по часовой стрелке. Поэтому большинство из практически осуществленных фильтров базируется на более удобных для практики преобразованных математических выражениях для выделения симметричных составляющих.

На их основе осуществлено большинство существующих схем фильтров симметричных составляющих. В этих схемах получают токи или напряжения, пропорциональные электрическим величинам, подведённым к фильтру, но повернутые на заданный угол при помощи специальных фазоповоротных схем.

Устройства релейной защиты, имеющие в своем составе аппаратуру и реагирующие на симметричные составляющие токов и напряжений различной последовательности, начали применяться в нашей стране еще в годы, предшествовавшие Великой Отечественной войне. Даже во время войны этот процесс не останавливался.

Число разных типов реле и отдельных измерительных органов, входящих в состав сложных шкафов и панелей релейной защиты, в которых применены фильтры симметричных составляющих, очень велико.

Аппаратура, включающая в себя фильтры симметричных составляющих, весьма разнообразна. Она выполняется как на базе различных электромеханических реле, в том

числе электромагнитных, индукционных, поляризованных и магнитоэлектрических, так и на базе статических органов, осуществляемых с помощью операционных усилителей.

При наладке и текущем облуживании такой аппаратуры необходимо обеспечить выполнение всех специфических требований, предъявляемых к проверке базовых элементов, на которых осуществлен испытываемый аппарат. Объем работы по наладке аппаратуры, реагирующей на симметричные составляющие токов и напряжений, мало чем отличается от объема проверок других устройств релейной защиты. Обычно эти работы осуществляются в такой последовательности:

- внешний осмотр и проверка состояния монтажа;
- чистка и механическая регулировка реле, их подвижных контактов переключателей и разъемных соединений;
- проверка электрических характеристик преобразователей и стабилизаторов оперативного тока, а также при необходимости встроенных измерительных преобразователей тока и напряжения отдельных функциональных узлов и деталей;
- снятие электрических характеристик фильтров симметричных составляющих;
- снятие электрических характеристик реле (блока защиты) в полной схеме;
- проверка реле (блока защиты) рабочим током и напряжением.

Аппаратура, реагирующая на симметричные составляющие токов и напряжений, находит широкое применение в технике релейной защиты, технологической и противоаварийной автоматике установок, служащих для производства, распределения и потребления электрической энергии в трехфазных системах переменного тока.

ВЛИЯНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАБОТУ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ

Прохорова М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Цифровой фильтр (ЦФ) – устройство, пропускающее, либо подавляющее заданные в цифровой форме сигналы в определенной полосе частот. В отличие от аналоговых фильтров, у которых входной сигнал изменяется непрерывно, в цифровых входной сигнал представляется в дискретной форме, то есть принимает каждый раз новое значение через интервал дискретизации.

Простейший ЦФ состоит из сумматора и устройства задержки во времени (которое можно реализовать на запоминающем устройстве). Если входной сигнал ЦФ – синусоидальный с частотой f , а задержка во времени составляет половину периода этого сигнала, то на сумматоре сигналы вычитаются и входной сигнал ЦФ равен нулю.

В более общем случае ЦФ состоит из набора устройств задержки и сумматора, причем сдвинутые во времени сигналы суммируются с различными коэффициентами передачи. Говорят, что импульсная характеристика ЦФ состоит из набора сдвинутых во времени отсчетов входного сигнала, а поскольку количество этих отсчетов определяется количеством устройств задержки, то импульсная характеристика ограничена во времени. Поэтому такие фильтры называют фильтрами с конечной импульсной характеристикой или КИХ-фильтрами.

Характеристика КИХ-фильтров становится более прямоугольной и исчезают пульсации. Но при этом основной дефект КИХ-фильтров – частотная характеристика повторяется через интервал частот $f = 1/t_z$. От этого недостатка свободны ЦФ с бесконечной импульсной характеристикой – БИХ-фильтры.

Если на вход БИХ-фильтра подать отсчет единичной амплитуды, то выходные отсчеты будут формироваться как сумма задержанных отсчетов с различными весами a_1, a_2 , которые снова через сумматор подаются на устройства задержки. Процесс этот длится бесконечно, откуда название ЦФ. Следует отметить, что все весовые коэффициенты должны быть меньше единицы, иначе процесс на выходе ЦФ будет бесконечно нарастать по амплитуде.

Применение в ЦФ весовых коэффициентов, не равных единице или нулю, требует применения умножителей. Поэтому в последнее время ЦФ чаще реализуют программным путем в ЭВМ. В программу записывают все необходимые математические операции и задержки во времени. Такую программу (состоящую из сотен и тысяч элементарных машинных операций) необходимо выполнять для каждого отсчета входного сигнала, поэтому на ЭВМ можно построить только сравнительно низкочастотные ЦФ. При аппаратной реализации можно получить более высококачественные ЦФ, однако потребуются десятки микросхем.

Анализ Фурье закладывает основы многих методов, применяющихся в области цифровой обработки сигналов (ЦОС). Преобразование Фурье позволяет сопоставить сигналу, заданному во временной области, его эквивалентное представление в частотной области. Наоборот, если известна частотная характеристика сигнала, то обратное преобразование Фурье позволяет определить соответствующий сигнал во временной области.

В дополнение к частотному анализу, эти преобразования полезны при проектировании фильтров. Частотная характеристика фильтра может быть получена посредством преобразования Фурье его импульсной реакции. И наоборот, если определена частотная характеристика сигнала, то требуемая импульсная реакция может быть получена с помощью обратного преобразования Фурье над его частотной характеристикой. Цифровые фильтры могут быть созданы на основе их импульсной реакции, поскольку коэффициенты фильтра с

конечной импульсной характеристикой (КИХ) идентичны дискретной импульсной реакции фильтра.

Единственный член, который имеет отношение к цифровой обработке сигналов, – это дискретное преобразование Фурье (ДПФ), которое оперирует дискретной по времени выборкой периодического сигнала во временной области. Для того, чтобы быть представленным в виде суммы синусоид, сигнал должен быть периодическим. Но в качестве набора входных данных для ДПФ доступно только конечное число отсчетов (N). Эту дилемму можно разрешить, если мысленно поместить бесконечное число одинаковых групп отсчетов до и после обрабатываемой группы, образуя, таким образом, математическую (но не реальную) периодичность.

УДК 621.315.2.016.2

ПРОВЕРКА КАБЕЛЕЙ НА НЕВОЗГОРАНИЕ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ, И ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ИХ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

Дударев А. В.

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

Короткое замыкание – не предусмотренное нормальными условиями работы электрическое соединение точек электрической цепи с различными потенциалами через малое сопротивление. КЗ возникает вследствие нарушения изоляции и соединения токопроводящих частей электроустановок друг с другом или с заземлёнными поверхностями непосредственно или через токопроводящий материал.

Возгорание – Начало горения под действием источника зажигания

При проверке кабелей на невозгорание расчет токов КЗ и тепловых импульсов (интегралов Джоуля) следует проводить, руководствуясь ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ», ГОСТ 27514-87 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ» и ГОСТ 30323-95 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания», а также «Методическими указаниями по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги» (М.: СПО ОРГРЭС, 1993).

При проверке кабелей на невозгорание рассчитывается ток трехфазного металлического короткого замыкания в начале проверяемого кабеля.

При этом допускается принимать точку КЗ за отрезками кабеля длиной 50 м от начала (кабели напряжением до 10 кВ) и 20 м (кабели напряжением до 1 кВ).

Расчет токов КЗ для проверки кабелей на невозгорание проводить с учетом следующего:

- учитывается влияние тока подпитки от асинхронных электродвигателей на полный ток КЗ;

- в сети 0,4 кВ если суммарный номинальный ток одновременно включенных электродвигателей превышает 10% начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей. При этом следует учитывать электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ, а также электродвигатели секций, объединяемых действием АВР;

- в сети 6 кВ учитывать одновременно включенные электродвигатели мощностью 100 кВт и более, если они не отделены от точки КЗ токоограничивающими реакторами или силовыми трансформаторами;

- ток подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей рассчитывается без учета апериодической составляющей;

- в расчетах периодической составляющей тока подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей 6,0 кВ допускается не учитывать их активное сопротивление;

- в расчетах сети 0,4 кВ следует считать ток трехфазного КЗ с учетом переходного сопротивления электрической дуги в месте КЗ и увеличение активных сопротивлений кабелей от протекающего тока трехфазного КЗ по ГОСТ 28249-93 и по «Методическим указаниям по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги»;

- электродвигатели 0,4 кВ, подключенные ко вторичным сборкам, в расчетах не учитываются.

При испытании на возгорание силовых кабелей напряжением до 6 кВ токами КЗ длительностью до 4 с установлено, что разрыв оболочек, разрушение концевых заделок и возгорание кабелей не происходит, если температура токопроводящих жил не превышает 350°С для небронированных кабелей с пропитанной бумажной и пластмассовой изоляцией и 400°С для бронированных кабелей с пропитанной бумажной изоляцией и кабелей с изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

Литература

1 Электрическая часть станций и подстанций : Учеб. для вузов/ А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А. А. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

2 Online Electric [Электронный ресурс] /Проверка кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания ЦИРКУЛЯР № Ц-02-98 (Э). – Режим доступа: <http://www.online-electric.ru/theory/359.php>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ ПРИ ЧАСТОТАХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ

Диордица В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

В наше современное время, компьютеры и компьютерные системы используются во многих сферах, но, сами же компьютеры работают с информацией, представленной в цифровой форме (т. е. дискретной). С появлением компьютеров, также появились и новые виды обработки информации – цифровые фильтры, которые улучшают качество сигнала и снижают действие различных шумов, помех, наводок (высших гармоник), которые являются искажениями в сигнале.

Задача фильтра – снизить воздействие этих самых высших гармоник в сигнале.

В энергетике РБ сейчас наиболее часто используются различные релейные защиты, с использованием цифровых фильтров, построенных на преобразованиях Фурье. Примерами таких защит могут являться микропроцессорные реле, производства БЭМН, типов МР-300, МР-500, МР-600, МР- 700, МР-741, МР-801. Указанные цифровые реле являются многофункциональными (реализуют функции защиты, автоматики, индикации, контроля, местного и дистанционного управления), особой примечательностью подобных реле, это возможность и простота их программирования.

Таким образом, их можно сконфигурировать как угодно, настроить на работу с любыми частотами, отличными от промышленных.

С целью облегчения понимания данного материала, я буду проводить аналогию с звуковыми сигналами (у которых частоты имеют спектр от 20 Гц – 20 кГц).

Вообще, многие сигналы удобно анализировать, раскладывая их на синусоиды (гармоники). Тому есть несколько причин. Например, подобным образом работает человеческое ухо. Оно раскладывает звук на отдельные колебания различных частот. Кроме того, можно показать, что синусоиды являются «собственными функциями» линейных систем (т. к. они проходят через линейные системы, не изменяя формы, а могут изменять лишь фазу и амплитуду).

Преобразование Фурье – это разложение функций на синусоиды. Существует несколько видов преобразования Фурье:

1. Непериодический непрерывный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
2. Периодический непрерывный сигнал можно разложить в бесконечный ряд Фурье;
3. Непериодический дискретный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
4. Периодический дискретный сигнал можно разложить в конечный ряд Фурье.

Компьютер способен работать только с ограниченным объемом данных, следовательно, реально он способен вычислять только последний вид преобразования Фурье.

Вычисление преобразований Фурье требует очень большого числа умножений (около N в квадрате) и вычислений синусов. Существует способ выполнить эти преобразования значительно быстрее: примерно за N операций умножения.

Этот способ называется быстрым преобразованием Фурье (БПФ). Он основан на том, что среди множителей (синусов) есть много повторяющихся значений (в силу периодичности синуса). Алгоритм БПФ группирует слагаемые с одинаковыми множителями, значительно сокращая число умножений. В результате быстрое действие БПФ может в сотни раз превосходить быстрое действие стандартного алгоритма (в зависимости от N). При этом следует подчеркнуть, что алгоритм БПФ является точным. Он даже точнее стандартного, т.к. сокращая число операций, он приводит к меньшим ошибкам округления.

Эффект от умножения спектров сигналов при свертке называется фильтрацией. Когда спектры умножаются как комплексные числа, происходит умножение амплитуд гармоник исходного сигнала и ядра свертки. Таким образом, мы получаем возможность изменять спектр сигнала. Это очень полезная операция. Например, в звукозаписи изменение спектра

сигнала позволяет очищать запись от шумов, компенсировать искажения сигнала различными устройствами звукозаписи, менять тембры инструментов, акцентировать внимание слушателя на отдельных партиях. Также фильтрация является составным компонентом многих других, более сложных процессов.

В общем случае, фильтр меняет в спектре сигнала и амплитуды гармоник, и их фазы. Однако фильтры можно проектировать так, чтобы они не меняли фазу сигнала. Такие фильтры называются фильтрами с линейной фазой. Это означает, что если они и меняют фазу сигнала, то делают это так, что все гармоники сигнала сдвигаются по времени на одну и ту же величину. Таким образом, фильтры с линейной фазой не искажают фазу сигнала, а лишь сдвигают весь сигнал во времени.

Основное свойство любого фильтра – это его частотная и фазовая характеристики. Они показывают, какое влияние фильтр оказывает на амплитуду и фазу различных гармоник обрабатываемого сигнала. Если фильтр имеет линейную фазу, то рассматривается только частотная характеристика фильтра. Обычно частотная характеристика изображается в виде графика зависимости амплитуды от частоты (в децибелах).

В зависимости от общего вида частотной характеристики можно выделить следующие распространенные типы фильтров: НЧ-фильтры, ВЧ-фильтры, полосовые фильтры, которые пропускают или подавляют сигнал только в определенной частотной полосе. Существуют и другие типы фильтров с более сложными частотными характеристиками.

Обычно в задачах фильтрации сигнала для фильтра задается требуемая частотная характеристика. Целью является построить фильтр, отвечающий заданным требованиям, и провести фильтрацию. Часто бывает невозможно построить в точности заданный фильтр. Тогда строится фильтр, близкий по характеристикам к заданному.

Часто к фильтрам предъявляются более сложные требования. Например, фильтр может иметь несколько частотных полос пропускания и непропускания. Причем для полос пропускания могут быть заданы разные коэффициенты усиления, а для полос непропускания – разные коэффициенты подавления. Иногда требуемая частотная характеристика фильтра задается вообще произвольной кривой.

Существует множество способов построения фильтров с заданной частотной характеристикой. Мы кратко рассмотрим один из них. Это проектирование фильтров с линейной фазой с помощью взвешивающих окон. Этот способ является универсальным, т.к. позволяет получить фильтр с любой заданной частотной характеристикой. В то же время он достаточно прост и широко применяется. (Будет рассмотрен пример).

Прогресс шагает вперед, а вместе с ним и новые инновации, цифровые вычислительные мощности компьютеров растут, растёт база данных компьютеров, а это всё означает, что качество цифровых фильтров улучшается, они становятся более точными, более быстрыми, более совершенными (близки к идеальным). Ведь, в последнее время цифровые фильтры всё чаще реализуются программным способом на ЭВМ. В программу вписывают все необходимые математические модели, алгоритмы, параметры и т.п., а сами же фильтры реализуются на микропроцессорах. А сам анализ Фурье является фундаментом для многих других методов обработки цифрового сигнала.

В данной работе я на примере звукового сигнала показал принцип функционирования цифрового фильтра Фурье, но, также данный принцип может применяться и в других областях повседневной жизни: электроэнергетике, программировании, фоторедактировании, видеоредактировании и любых других.

УДК 621.3.022

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Стасевич А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

В дифференциальных защитах, установленных на трансформаторах с регулированием напряжения под нагрузкой или многообмоточных трансформаторах с несколькими питающими обмотками, токи небаланса в установившемся режиме имеют значительную величину.

Реле состоит из трехстержневого насыщающегося трансформатора, питающего обмотку электромагнитного реле.

Насыщающийся трансформатор имеет первичную обмотку, вторичную обмотку, в цепь которой включено дифференциальное реле.

Рабочая обмотка включается дифференциально, тормозная включается в рассечку плеча токовой цепи релейной защиты.

В результате ток тормозной обмотки не создает тока в реле и служит для подмагничивания крайних стержней магнитопровода, насыщая их и ухудшая трансформацию тока из рабочей среды обмотки во вторичную.

При отсутствии тормозного тока реле работает как обычное реле, но без короткозамкнутых обмоток.

При внешнем коротком замыкании ток, проходящий по тормозной обмотке, насыщает крайние стержни магнитопроводов, в результате чего ток срабатывания реле возрастает, одновременно с этим ухудшается трансформация тока небаланса появляющегося в рабочей обмотке трансформатора.

Магнитная индукция при токе срабатывания реле достигает значения, при котором начинается насыщение магнитопровода, благодаря чему апериодический ток почти не трансформируется во вторичную обмотку. Поэтому рассмотренное реле не реагирует на апериодическую составляющую, содержащуюся в намагничивающем токе и токе небаланса при неустановившихся режимах.

В основе метода симметричных составляющих лежит представление, что любая несимметричная система векторов может быть показана в виде трёх симметричных трёхфазных систем векторов – прямой, обратной и нулевой последовательностей, называемых симметричными составляющими исходной несимметричной системы.

Дифференциальная защита ДЗТ-11, имеющая промежуточный насыщающийся трансформатор и одну тормозную обмотку, устанавливается по действующим правилам на понижающих двухобмоточных трансформаторах 110 – 220 кВ.

Эта защита выполняется в двухфазном исполнении.

В зону действия дифференциальной защиты, кроме выводов НН трансформатора, попадают также подключенные к ним реакторы 6 – 10 кВ.

Ток срабатывания защиты выполняется большим.

Если необходимый коэффициент чувствительности при коротком замыкании за реактором не обеспечивается, дифференциальная защита выполняется в виде двух комплексов с использованием реле типа ДЗТ-11): грубого, действующего без выдержки времени током срабатывания релейной защиты и чувствительного.

При использовании со стороны ВН ТТ с вторичным током 1А релейная защита должна выполняться с реле типа ДЗТ-11/3.

Реле с магнитным торможением ДЗТ-11, обеспечивает отстройку как от броского тока намагничивания, так и от бросков тока небаланса.

Важнейшим преимуществом реле являются ее простота конструкции, наличие тормозной характеристики.

Также ее важным преимуществом является небольшая зависимость тока срабатывания от фазы тормозных токов, надежная отстройка от апериодической составляющей токов намагничивания и возможность выполнения рее с тремя и более тормозными обмотками.

УДК 621.316.99

ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА

Подрез А.А.

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

Гашение поля синхронного генератора – это операция, заключающаяся в снижении магнитного потока машины до величины, близкой к нулю, которая проводится как при плановых, так и при аварийных отключениях генератора от сети. При плановом отключении одновременно с разгрузкой генератора снижают и его ток возбуждения для поддержания напряжения на его выводах близким к номинальному. Этот процесс проводится до тех пор, пока ток возбуждения не снизится до значения тока холостого хода генератора.

Необходимость в аварийном отключении генератора от сети возникает при повреждениях в энергосистеме или при повреждениях в зоне действия дифференциальной защиты генератора или блока генератор - трансформатор. В первом случае после отключения генератора от сети напряжение на его выводах резко возрастает до значения, соответствующего его ЭДС, что значительно выше номинального и нежелательно как для его изоляции, так и для изоляции подключенного к нему оборудования (блочного, выпрямительного трансформаторов и др.). Во втором случае к гашению поля предъявляются особые требования, поскольку, чем больше время горения дуги при этом повреждении, тем не только больше объем разрушения в месте КЗ, но и выше вероятность повреждения изоляции под действием дуги на других узлах генератора (например, развитие двухфазного КЗ в трехфазное) и рядом стоящего оборудования. Кроме того, машина при близком коротком замыкании (КЗ) испытывает динамический удар, и силы, возникающие при этом, стремятся отогнуть лобовые части статорной обмотки, что может привести к дополнительному повреждению изоляции этих частей и дорогостоящему ремонту. При пробоях изоляции дуга горит до тех пор, пока ЭДС генератора не снизится до величины, недостаточной для ее поддержания. Проведенные опыты показали, что при напряжении 500 В происходит естественное погасание дуги переменного тока внутри машины. Для снижения ущерба от повреждения при такой аварии магнитный ток (ток возбуждения) как можно быстрее должен быть снижен до величины, практически равной нулю. Как правило, для гашения поля используют контур возбуждения генератора, поскольку напряжение на обмотке возбуждения (ОВ) является единственным параметром, который одновременно влияет на время гашения поля и, в то же время, является доступным для воздействия на него при гашении поля в различных условиях. На ОВ при гашении поля создается отрицательное напряжение, под действием которого ток возбуждения машины снижается до нуля. Чем выше значение этого напряжения, тем быстрее гасится поле.

На сегодняшний день применяются следующие способы гашения поля:

- гашение поля выводом энергии в сеть переменного напряжения (в тиристорных СВ);
- гашение поля рассеиванием энергии магнитного поля ОВ на дугогасительной решетке выключателя;
- гашение поля рассеиванием энергии на резисторе с линейным сопротивлением и на резисторе с нелинейным сопротивлением.

Устройства, реализующие эти способы, различны по эффективности (скорости гашения поля) и стоимости. При гашении поля инвертированием или на резисторе с линейным сопротивлением время гашения поля оказывается большим, что говорит о недостаточной эффективности этих способов. С другой стороны устройства, осуществляющие гашение поля на резисторе с нелинейным сопротивлением и на дугогасительной решетке выключателя (АГП) позволяют быстро гасить поле. Однако их стоимость высока и это стимулирует поиск решений, альтернативных уже существующим.

Таким образом, актуален поиск решений, позволяющих создать такое УГП, которое сможет быстро гасить поле синхронных машин и будет иметь приемлемую стоимость.

УДК 621.316.96

АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Приходько Р. Н.

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

Первая в мире атомная электростанция (АЭС), построенная в городе Обнинске под Москвой, дала ток в июне 1954 года. Мощность ее была весьма скромной – 5 МВт. Однако она сыграла роль экспериментальной установки, где накапливался опыт эксплуатации будущих крупных АЭС. Впервые была доказана возможность производства электрической энергии на основе расщепления ядер урана, а не за счет сжигания органического топлива и не за счет гидравлической энергии.

После чернобыльской катастрофы 1986 года ученые стали сомневаться в безопасности эксплуатации АЭС и, в особенности, реакторов типа РБМК. Тип ВВЭР в этом отношении более благополучен: авария на американской станции в 1979 году, где частично расплавилась активная зона реактора, радиоактивность не вышла за пределы корпуса. В пользу ВВЭР говорит долгая безаварийная эксплуатация японских АЭС.

Есть направление, которое, по мнению ученых, способно обеспечить человечество теплом и светом на ближайшее тысячелетие. Имеются в виду реакторы на быстрых нейтронах, или реакторы-размножители. В них используется уран, но для получения не энергии, а горючего. Этот изотоп хорошо поглощает быстрые нейтроны и превращается в другой элемент – плутоний. Реакторы на быстрых нейтронах очень компактны: им не нужны ни замедлители, ни поглотители – их роль играет уран. Называются они реакторами-размножителями, или бридерами. Воспроизведение ядерного горючего позволяет в десятки раз полнее использовать уран, поэтому реакторы на быстрых нейтронах считаются одним из перспективных направлений атомной энергетики. В реакторах такого типа, кроме тепла, нарабатывается еще и вторичное ядерное топливо, которое можно использовать в дальнейшем.

Примером АЭС на быстрых нейтронах служит проект «БРЕСТ» (Россия). «БРЕСТ» – проект реакторов на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем. Электрическая мощность 300 и 1200 МВт. На основе опыта к 2030 году намечено и сооружение отдельной АЭС этого типа. Реактор отличается от эксплуатируемых в настоящее время аппаратов в конструктивном плане.

Реакторы-размножители на быстрых нейтронах, производят больше топлива, чем сами потребляют, позволяют использовать фактически весь уран, произведенный горнодобывающей промышленностью утилизировать в огромных количествах бедные урановые и ториевые руды, рассеянные в земных горных породах. Реакторы бридерного типа можно использовать в качестве источника электроэнергии в течение тысяч лет. Вместе с тем работа бридерных реакторов не связана с выбросом в атмосферу вредных продуктов сгорания (утечка радиоактивности из быстрых бридеров в воздух близка к нулю). Чрезвычайно высокая эффективность делает реакторы-бридеры привлекательными для энергетики. Однако, их высокая стоимость, с одной стороны, и распространенность дешевого урана, с другой, вряд ли будут способствовать их широкому внедрению в атомную энергетику в течение ближайших десятилетий до 2050 года.

Литература

- 1 Ганев И. Х. Физика и расчет реактора. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
- 2 Матвеев В. Л., Рудик А. П. Почти все о ядерном реакторе. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 621.3.022

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Тимофейчик Л.А.

Научный руководитель – Гурьянчик О.А.

В обмотках трансформаторов в процессе эксплуатации могут возникать короткие замыкания (КЗ) между фазами, замыкание одной или двух фаз на землю, замыкание между витками одной фазы и замыкания между обмотками разных напряжений. На вводах трансформаторов и автотрансформаторов, ошиновке и в кабелях могут также возникать КЗ между фазами и на землю. В эксплуатации могут происходить нарушения нормальных режимов работы трансформаторов.

Согласно ПУЭ, для трансформатора требуются следующие защиты:

– защита от внутренних повреждений для трансформаторов менее 4 МВА – максимальная защита и токовая отсечка, для трансформаторов большей мощности – дифференциальная защита;

– защита от повреждения внутри бака трансформатора или РПН – газовая защита трансформатора и устройства РПН с действием на сигнал и отключение;

– защита от внешних коротких замыканий – максимальная защита с блокировкой по напряжению или без неё. Она же используется как резервная защита трансформаторов от внутренних повреждений;

– защита от однофазных коротких замыканий на сторонах трансформатора с глухозаземлённой нейтралью;

– защита от перегрузки с действием на сигнал. В ряде случаев, на ПС без обслуживающего персонала, защита от перегрузки выполняется с действием на разгрузку или на отключение.

Основными узлами МП устройства РЗА являются: входные преобразователи логических сигналов ($U1-U2$), входные преобразователи аналоговых сигналов ($U3-U4$), выходные преобразователи логических сигналов ($KL1-KLj$), тракт аналого-цифрового преобразования, содержащий мультиплексор (MUX) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), кнопки управления и ввода информации от оператора ($SB1-SB2$), средства отображения информации (в данном случае показан жидкокристаллический индикатор ЖКИ) и блок питания (БП). Как правило, современные микропроцессорные устройства оснащаются коммуникационным портом для связи с другими МП устройствами или компьютерами.

Продольная дифференциальная защита трансформатора блока (ДЗТБ) является основной быстродействующей защитой трансформатора от всех видов КЗ в обмотках трансформатора блока и на его выводах.

Дифференциальная защита трансформатора блока, как правило, имеет три плеча.

Для обеспечения надежной работы защиты при больших токах повреждения в зоне действия защиты предусмотрена дифференциальная отсечка с током срабатывания $I_{отс}$, регулируемым в диапазоне от 5,0 до 12,0 с шагом 0,1.

В защите обеспечена отстройка от токов небаланса при внешних КЗ и асинхронном ходе. Время срабатывания защиты при двукратном и более превышении тока срабатывания не превосходит 0,03 с.

Для получения информации о токах в блоке турбогенератор-трансформатор используются три группы трансформаторов тока:

– трансформаторы тока, установленные на линейных выводах генератора;

– трансформаторы тока, установленные на выводах высшего напряжения трансформатора блока (при схеме распределительного устройства с одним выключателем на цепь используется группа трансформаторов тока, установленных в цепи выключателя);

– трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения отпаечного трансформатора собственных нужд.

Выбор трансформаторов тока выполняется в следующем порядке:

– рассчитываются номинальные первичные токи сторон защищаемого трансформатора

$$I_{\text{ном},j};$$

– Выбираются коэффициенты трансформации трансформаторов тока сторон;

– Рассчитываются вторичные номинальные токи сторон защищаемого трансформатора

$$I_{\text{ном},Bj}.$$

Минимальный ток срабатывания защиты $I_{\text{сз},\text{min}}$ выбирается по следующим условиям:

1. Отстройка от расчетного периодического тока небаланса в режиме, соответствующем «началу торможения».

2. Отстройка от броска тока намагничивания защищаемого трансформатора.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбирается из условия отстройки от максимального тока небаланса, возникающего при коротком замыкании вне зоны действия дифференциальной защиты трансформатора или при асинхронном режиме работы генератора блока.

Для каждого из трех коротких замыканий рассчитывается ток небаланса. Расчетным является трехфазное короткое замыкание. Кроме того, рассчитывается ток небаланса при асинхронном ходе генератора блока.

Использование микропроцессорной техники позволит повысить эффективность функционирования релейной защиты трансформаторов. А это в свою очередь обеспечивает экономический эффект по следующим составляющим:

– уменьшение затрат на ремонт благодаря ограничению объема разрушения защищаемого трансформатора в пределах одной-двух катушек;

– уменьшение ущерба за счет сокращения времени ремонта трансформатора.

ВЫБОР, РАСЧЕТ ЕМКОСТИ АБ И ПОДЗАРЯДНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Гагина Т. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Постоянный оперативный ток применяется на электрических станциях и крупных подстанциях со сборными шинами. Источником постоянного оперативного тока являются аккумуляторные батареи (АБ), которые набираются из отдельных свинцово-кислотных аккумуляторов. Напряжения питания постоянного тока – 220 В (иногда 110 В).

АБ разделяются на три группы по способу обслуживания (взаимодействия с внешней средой):

- открытые;
- малообслуживаемые;
- герметичные.

Аккумуляторные батареи типа *OpzS* и *Ogi* выполняются как малообслуживаемые или необслуживаемые.

Выбор АБ производится так, что бы она совместно с кабелями, питающими цепи включения приводов выключателей и зарядно-подзарядных устройств, обеспечивала надежное и экономичное питание постоянного тока во всех возможных режимах работы.

Для выбора емкости батареи необходимо знать расчетный ток аварийного разряда $I_{расч}$, определяемый из графика аварийного разряда $I_{расч} = f(t)$ при аварийном исчезновении переменного напряжения, и значение максимального толчкового тока также определяется из этого же графика.

В качестве исходных данных для расчета установки постоянного тока при применении аккумуляторных батарей должны быть заданы: типы выключателей и приводов к ним, номинальный ток электромагнитов включения приводов $I_{Сном}$, ток аварийного получасового разряда $I_{0,5}$, длина кабеля от щита постоянного тока до наиболее удаленного выключателя при наиболее неблагоприятной (ремонтной) схеме питания I_k и до ближайшего выключателя I_1 , минимально допустимое значение напряжения на зажимах электромагнита включения K_c .

Минимальное число элементов батареи n , работающей в режиме постоянного подзаряда без элементного коммутатора с напряжением 2,15 В на элемент, определяется из условия поддержания на шинах постоянного тока напряжения $1,05 U_{ном}$.

Так же в системе постоянного оперативного тока предусмотрены зарядно-подзарядные агрегаты, которые предназначены для поддержания оптимальных режимов работы АБ, таких как ее заряд, разряд и подзаряд.

Ток подзаряда должен быть $0,15 \cdot N$, с учетом возможных продолжительных разрядов, тогда $I_{пз} \geq 0,15 \cdot N + I_{п}$ ($I_{п}$ – ток постоянно включенной нагрузки).

Напряжение подзарядного устройства должно соответствовать условию: $U_{пз} \geq 2,15 \cdot n_0$, где n_0 – число основных элементов.

В настоящее время в качестве них применяется ВЗП– выпрямленный агрегат зарядно-подзарядный.

В заключение можно сказать, что АБ являются наиболее надежным источником постоянного тока, но и дорогим. Они требуют отдельных помещений и квалифицированного ухода.

Литература

1. Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. Барыбин, Ю. Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю. Г. Барыбин, Ю. Н. Тищенко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.3.022

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА

Байрамов Д.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Большинство повреждений генератора вызывается нарушением изоляции обмоток статора и ротора, которые происходят вследствие старения изоляции, ее увлажнения, наличия в ней дефектов, а также в результате перенапряжений, механических повреждений, например, из-за вибрации стержней обмоток и стали магнитопровода.

На генераторах устанавливаются РЗ от внутренних повреждений и опасных ненормальных режимов, т.е. таких режимов, которые могут вызывать повреждение генератора. При ненормальных режимах работы генератора, не требующих немедленного отключения, РЗ, как правило, должна действовать на сигнал, по которому дежурный обязан принять меры к устранению ненормального режима без отключения генератора. Автоматическое отключение генератора допускается только в тех случаях, когда возникший ненормальный режим нельзя устранить, а его дальнейшее продолжение ведет к повреждению генератора. Для предотвращения развития повреждения, возникающего в генераторе, РЗ от внутренних повреждений должны отделить генератор от сети, отключив генераторный выключатель, и прекратить ток в обмотке ротора.

Дифференциальная защита – один из видов релейной защиты, отличающийся абсолютной селективностью и выполняющийся быстродействующей (без искусственной выдержки времени). Применяется для защиты трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, генераторных блоков, двигателей, воздушных линий электропередачи и сборных шин (ошиновок). Различают продольную и поперечную дифференциальные защиты.

В настоящее время на генераторах, работающих на шины генераторного напряжения, применяются главным образом две схемы продольной дифференциальной защиты. В первой из них, которая применяется на генераторах мощностью меньше 30 МВт, используются два токовых реле и четыре трансформатора тока. Недостатком этой схемы защиты является то, что она не будет срабатывать при двойном замыкании на землю (одно в сети, другое в обмотке статора), если в генераторе замкнется на землю фаза статора, в которой отсутствуют трансформаторы тока защиты.

Продольная дифференциальная защита не действует при витковых замыканиях в обмотке статора, так как в этом случае токи, проходящие со стороны выводов и нулевой точки, одинаковы, вследствие чего ток в реле отсутствует.

С целью повышения чувствительности токовое реле включается через фильтр для отстройки от воздействия гармоник, кратных трем, наличие которых обусловлено искажением формы кривой ЭДС генератора. В результате ток срабатывания реле при частоте 150 Гц (третья гармоника) примерно в 10 раз больше, чем при частоте 50 Гц. На генераторах с непосредственным охлаждением обмоток защита выполняется без выдержки времени. На генераторах с косвенным охлаждением устанавливается дополнительно реле времени.

Реле выполняет сравнение дифференциальных токов во всех трех фазах и определяет среднеквадратичные значения синусоидальных токов. Для сокращения времени отклика в случае аварийной ситуации измерение производится по пиковым значениям тока. Для измерения дифференциальных токов обмотки внешних трансформаторов тока соединяются по параллельной схеме, но с противоположной полярностью.

Реле дифференциальной защиты типа MDR-2 представляет собой микропроцессорный блок управления, осуществляющий все необходимые функции для отслеживания дифференциальных токов синхронных и асинхронных генераторов и электродвигателей (далее – объектов контроля).

Устройства предназначено для применения на новых и реконструируемых подстанциях распределительных сетей и промышленных предприятий, а также для замены старых устройств РЗА и телемеханики.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении токов, протекающих через участки между защищаемым участком. Для измерения значения силы тока на концах защищаемого участка используются трансформаторы тока. Вторичные цепи этих трансформаторов соединяются с токовым реле таким образом, чтобы на обмотку реле попадала разница токов от первого и второго трансформаторов.

В нормальном режиме значения величины силы тока вычитаются друг из друга, и в идеальном случае ток в цепи обмотки токового реле будет равен нулю. В случае возникновения короткого замыкания на защищаемом участке, на обмотку токового реле поступит уже не разность, а сумма токов, что заставит реле замкнуть свои контакты, выдав команду на отключение поврежденного участка.

УДК 621.3.022

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ

Дайлидко А.В.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра – кинетической энергии воздушных масс в атмосфере. В современном мире многие развитые страны стараются внедрять новые возобновляемые источники получения энергии.

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

- 1) ветроэнергетическими ресурсами;
- 2) ветроэнергетическим оборудованием;
- 3) развитой ветротехнической инфраструктурой.

Для ветроэнергетики Беларуси энергетический ресурс ветра практически неограничен. В стране имеется развитая централизованная электросеть и большое количество свободных площадей, не занятых субъектами хозяйственной деятельности. Поэтому размещение ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветроэлектрических станций (ВЭС) обуславливается только грамотным размещением ветроэнергетической техники на пригодных для этого площадях.

К основным исходным данным о ветроэнергетических ресурсах относится информация о распределении среднегодовых ветроэнергоресурсов по административному делению в зависимости от климатических характеристик территории Беларуси и по характерным особенностям рельефа.

Исследованиями по 244 контрольным точкам, включая 54 метеостанции (статистические сведения – за 25 лет), 190 контрольным пунктам на территории Республики Беларусь и в стокилометровой зоне за рубежом ветроэнергетический потенциал Беларуси оценён в 220 млрд кВт/ч при единичной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) в диапазоне 100–500 кВт. Установки такой мощности хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации в странах со сходными с Беларусью условиями.

Сведения о ветроэнергетических ресурсах изложены в отчётах по научно-исследовательским работам, а также в различных публикациях и сформированы в комплекте кадастровых сведений, содержащих:

- информационный банк данных о ветроэнергетических характеристиках на территории Беларуси;
- информационную базу данных с программным обеспечением для расчетов ветроэнергетических ресурсов на территориях и оценки ветроэнергетического потенциала конкретной ветроэнергетической установки в конкретном месте внедрения ветротехники;
- ветроэнергетический атлас, содержащий набор карт для размещения ветротехники на территории Республики Беларусь и паспорта точек (площадок) преимущественного внедрения ветроэнергетики;
- руководящие документы по применению, созданию, сертификации, строительству и эксплуатации ветротехники;
- техническое руководство по оценке ветровых режимов по требованиям ветроэнергетики.

При выборе конкретных образцов ВЭУ необходимо дополнительно учитывать ряд факторов, связанных с величиной фактического ветроэнергетического ресурса в месте непосредственного размещения ВЭУ. К таким факторам относятся: 1) абсолютная отметка поверхности земли; 2) высота возвышения площадок и их открытость; 3) отдалённость предлагаемого места размещения ВЭУ от потребителя, от линий электропередач и т. д.

При массовом строительстве ветроэлектростанций можно рассчитывать на то, что в дальнейшем цена одного киловатт-часа существенно снизится и окажется сравнимой со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой ТЭС и ГЭС.

Конструкции ВЭС постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери и т. д.

С возрастанием установленной мощности ветроэнергоустановок увеличивается и часть годового производства электроэнергии на 1кВт установленной мощности, что достигается за счёт улучшения характеристик ВЭУ, и снижается такой технико-экономический показатель, как стоимость 1кВт установленной мощности.

УДК 621.3.022

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Сырокваш Е. В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Трансформаторы тока широко используются для измерения электрического тока и в устройствах релейной защиты электроэнергетических систем, в связи с чем на них накладываются высокие требования по точности. Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением, часто составляющим сотни киловольт.

К трансформаторам тока предъявляются высокие требования по точности. Как правило, трансформатор тока выполняют с двумя и более группами вторичных обмоток: одна используется для подключения устройств защиты, другая, более точная для подключения средств учёта и измерения.

Трансформаторы тока (ТТ) в неустановившемся режиме существенно искажают информацию о состоянии защищаемого объекта, подводимую к устройству защиты. Полная погрешность ТТ при наличии в первичных токах апериодических составляющих в первые 2–5 периодов после возникновения КЗ может достигать 80–90 % и более. Основным фактором, определяющим искажение вторичного тока ТТ, является его ток намагничивания. Он достигает наибольших значений при наличии апериодических составляющих в первичном токе и остаточной индукции в сердечнике и совпадении их знаков.

Математическое описание ТТ, входящее в состав комплексных математических моделей релейной защиты (РЗ), предназначенных для оценки их ожидаемого поведения в переходных режимах защищаемого объекта, должно составляться с учетом реальных условий работы ТТ и их конструктивных особенностей. К ним относятся:

- схемы соединения вторичных обмоток – звезда с нулевым проводом, треугольник, дифференциальные схемы и т. п.;
- значения вторичных нагрузок, при необходимости с учетом их неодинаковости в различных фазах, наличия нелинейных индуктивностей в составе нагрузки и т. п.;
- характеристики намагничивания сердечника с возможностью задания остаточных индукций, учета динамики процесса перемагничивания;
- учет конструктивных особенностей – обычное или каскадное исполнение, наличие немагнитных зазоров в магнитопроводе и другое.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.

Для питания токовых цепей РЗ применяются ТТ простейшей конструкции без каких-либо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки. Устройство ТТ этого типа в общем случае с небольшим немагнитным зазором в сердечнике.

В переходном режиме падение напряжения в нулевом проводе оказывает существенное влияние на форму кривой вторичных токов. Поэтому математическое моделирование

трехфазной группы ТТ этого вида необходимо выполнять с учетом сопротивлений нулевого провода и включенных в него нагрузок.

Трехфазные группы ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов. Вторичные нагрузки в этом случае соединяются в звезду без нулевого провода.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп ТТ, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи. В защитах синхронных генераторов, высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин – более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду. Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератор-трансформатор содержат несколько групп ТТ с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит целесообразно использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединений каждой трехфазной группы ТТ. Наиболее просто это осуществляется при одинаковых нагрузках отдельных фаз в плече защиты, когда группа ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Юшкевич Р.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

В последнее время все больше внимания уделяется вопросам создания цифровых подстанций. Ключевым свойством цифровой подстанции является минимизация аналоговых и дискретных трактов в системах мониторинга и управления, что обеспечивается за счет максимально полной цифровизации систем оперативного и автоматического управления, в результате чего весь функционал устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматизированного диспетчерского управления сосредотачивается во взаимосвязанных компьютерных подсистемах энергообъекта.

Суть проблемы кибербезопасности заключается в том, что закрытость объекта больше не является барьером для кибератаки, которая может преодолеть изоляцию, и все данные на верхнем уровне АП с внедрением IEC 61850, если не принять специальные меры, могут стать доступными не по назначению. IEC 61850 лучше всего реализован через инфраструктуру Ethernet. Связь с сетью лишает преимуществ изоляции. Связь «клиент-сервер», поддерживающая более одного клиента, увеличивают возможность появления неавторизованного клиента.

Системы управления больше не защищены за счёт закрытости объекта, как это было раньше.

Используются TCP/IP и другие протоколы, характерные для обеих сред, что приводит к целому ряду проблем.

Для обеспечения требований по безопасности и для оценки её уровня предлагаем использовать семь основополагающих требований, кодифицированных в ISA 01.01.99:

- управление доступом (AC – Access Control), чтобы защитить от несанкционированного доступа к устройству или информации;
- управление использованием (UC – Use Control), чтобы защитить от несанкционированного оперирования или использования информации;
- целостность данных (DI – Data Integrity), чтобы защитить от несанкционированного изменения;
- конфиденциальность данных (DC – Data Confidentiality), чтобы защитить от подслушивания;
- ограничение потока данных (RDF – Restrict Data Flow), чтобы защитить от публикации информации на несанкционированным источниках;
- своевременный ответ на событие (TRE – Timely Response to Event), мониторинг и протоколирование связанных с безопасностью событий и принятие своевременных мер по ликвидации последствий в ответственных задачах и в критических ситуациях по безопасности;
- доступность сетевого ресурса (NRA – Network Resource Availability), чтобы защитить от атак «отказ в обслуживании».

При анализе существующих и разрабатываемых стандартов выяснилось, что ни один из рассмотренных документов не удовлетворяет всем семи требованиям. Значит необходимо искать правильные решения, потому что эти требования должны стать исходным руководством для инженеров-релейщиков.

Так же проблемой при обеспечении кибербезопасности на энергетических объектах является человеческий фактор.

Суть проблемы состоит в том, что одно и то же устройство или программное обеспечение может быть настроено так, чтобы обеспечивать кибербезопасность и не допускать кибератаки, а может быть настроено по-другому, т.е. способствовать кибератакам. Отличие исключительно в настройках. Нельзя выявить проблему путем каких-то

периодических осмотров оборудования. Требуется привлечение специально обученных специалистов.

Важно также обеспечить независимые от цифровых подсистем элементы защиты и управления, независимым оперативным током

Мероприятия по повышению кибербезопасности цифровых подстанций и объектов электроэнергетики в целом:

- разделение информационных потоков различных подсистем на физически не связанные сегменты коммуникационных сетей передачи данных внутри подстанции, т.е. предлагается создание независимых друг от друга шин процессов и шин объектов для каждой функции автоматического или автоматизированного управления, требующей повышенной надежности;

- отказ от монотехнологичности в коммуникационных сетях передачи данных внутри подстанции (чтобы Ethernet и TCP/IP не были единственными коммуникационными технологиями цифровой подстанции);

- применение симплексных каналов с односторонней передачей информации там, где это достаточно для выполнения прикладной функции, например, односторонняя передача информации от цифрового ТТ (ТН) к устройствам РЗА, исключающая возможность кибератаки на сам ТТ (ТН) от неисправного устройства РЗА и т. д.

Поскольку в настоящее время инженеры-релейщики не имеют ни одного руководства для решения любой из обозначенных проблем, они должны обратиться к изучению ряда стандартов и отчетов с информацией об основополагающих требованиях, кодифицированных в ISA 01.01.99 и к отчету рабочей группы Исследовательского комитета В5 СИГРЭ.

В связи с внедрением глобальных распределённых систем мониторинга, защиты и управления (WAMS, WAPS, WACS) должна быть решена задача помехоустойчивого приёма сигнала ГННС, обеспечивающего возможность векторных измерений пространственно разнесённых устройств с высокой точностью синхронизации.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Шуманский В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Поскольку замыкания на землю не вызывают появления сверхтоков и не искажают значения междуфазных напряжений, то они не отражаются на питании потребителей и не сопровождаются перегрузкой оборудования опасными токами. Поэтому в отличие от КЗ замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью не требуют немедленной ликвидации.

Однако отключение замыканий на землю является все же необходимым, так как в результате теплового воздействия тока замыкания на землю и электрической дуги в месте повреждения возможно повреждение изоляции между фазами на кабельных ЛЭП и переход однофазного замыкания в междуфазное КЗ. Помимо этого, из-за перенапряжений, вызываемых замыканием на землю, возможен пробой или перекрытие изоляции на неповрежденных фазах, что приводит к образованию двойных замыканий на землю в разных точках сети.

Защита от однофазных замыканий на землю может быть реализована 2-мя способами:

- общий (неселективный) контроль состояния изоляции сети относительно земли;
- избирательно (селективно) действующие средства, выявляющие замыкания на землю на отдельных присоединениях.

Общий контроль состояния изоляции и выявление однофазных замыканий на землю, как правило, основан на непрерывном измерении напряжения нулевой последовательности в контролируемой электрической сети.

При непрерывном измерении напряжения нулевой последовательности в контролируемой электрической сети выявляется лишь факт возникновения замыкания. Но определить на каком из присоединений произошло повреждение, невозможно. Поэтому приходится их поочередно отключать. При отключении поврежденного присоединения напряжение нулевой последовательности в сети снижается до фонового уровня. Этот признак и используется при поиске повреждения.

В сетях с изолированной нейтралью замыкания одной фазы на землю не вызывает КЗ, так как в этом случае ЭДС поврежденной фазы не шунтируется накоротко, а только закорачивается емкостью (фаза – земля) этой фазы. Возникающий при этом в месте повреждения ток замыкается через емкость проводов «здоровых» фаз относительно земли и имеет небольшую величину. Поэтому снижения напряжения в сети не происходит. Однако фазное напряжение «здоровых» фаз относительно земли повышается до междуфазного. Линейные напряжения остаются неизменными. Чтобы все это усвоить и представить наглядно, нужно разобраться в векторных диаграммах токов и напряжений в нормальном и ненормальном режимах.

УДК 621.3.022

ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Сапаров М.У.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

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. Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветрогенератор (для получения электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (для использования в транспорте) и другими. В этой работе будет разобран способ выработки электроэнергии с помощью ветка.

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в девятнадцатом веке в Дании. Там в 1890 году была построена первая ветроэлектростанция, а к 1908 году насчитывалось уже 72 станции мощностью от 5 до 25 киловатт. Крупнейшие из них имели высоту башни 24 метра и четырёхлопастные роторы диаметром 23 метра. Предшественница современных ветроэлектростанций с горизонтальной осью имела мощность 100 киловатт и была построена в 1931 году в Ялте. Она имела башню высотой 30 метров. К 1941 году единичная мощность ветроэлектростанций достигла 1.25 мегаватт. В период с 1940 по 1970 годы ветроэнергетика переживает период упадка в связи с интенсивным развитием передающих и распределительных сетей, дававших независимое от погоды энергоснабжение за умеренные деньги. Возрождение интереса к ветроэнергетике началось в 1980, когда в Калифорнии начали предоставляться налоговые льготы для производителей электроэнергии из ветра.

Предварительно проводят исследование потенциала местности. Анемометры устанавливают на высоте от 30 до 100 метров, и в течение одного двух лет собирают информацию о скорости и направлении ветра. Полученные сведения могут объединяться в карты доступности энергии ветра. Такие карты (и специальное программное обеспечение) позволяют потенциальным инвесторам оценить скорость окупаемости проекта.

Самый распространённый в настоящее время тип ветровых электростанций. Ветрогенераторы устанавливаются на холмах или возвышенностях.

Шельфовые ветровые электростанции строят в море: 10–60 километров от берега. Шельфовые ветровые электростанции обладают рядом преимуществ:

- их практически не видно с берега;
- они не занимают землю;
- они имеют большую эффективность из-за регулярных морских ветров.

Первый прототип плавающей ветровой турбины построен компанией H Technologies BV в декабре 2007 года. Ветрогенератор мощностью 80 киловатт установлен на плавающей платформе в 10.6 морских милях от берега Южной Италии на участке моря глубиной 108 метров.

Парящей называют ветровые турбины, размещенные высоко над землей, для использования более сильного и стойкого ветра. Концепция разработана в 1930 годы в СССР инженером Егоровым.

Первая на постсоветском пространстве горная ВЭС мощностью 1.5 МВт была запущена на Кордайском перевале в Жамбылской области Казахстана в 2011 году. Высота площадки – 1200 метров над уровнем моря. Среднегодовая скорость ветра 5.9 метров в секунду.

Автономные ветрогенераторы состоят из генератора, хвостовика, мачты, контроллера, инвертора и аккумуляторной батареи. У классических ветровых установок 3 лопасти, закреплённых на роторе. Вращаясь ротор генератора создаёт трёхфазный переменный ток, который передаётся на контроллер, далее ток преобразуется в постоянное напряжение и подаётся на аккумуляторную батарею. Ток, проходя по аккумуляторам, одновременно и

подзаряжает их и использует АКБ как проводники электричества. Далее ток подаётся на инвертор, где приводится в наши привычные показатели: переменный однофазный ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Если потребление небольшое, то сгенерированного электричества хватает для электроприборов и освещения, если тока с ветряка мало и не хватает - то недостаток покрывается за счёт аккумуляторов.

На первый взгляд ветер кажется самым доступным из возобновляемых источников энергии. В самом деле: не в пример Солнцу, он вполне работоспособен на юге и на севере, зимой и летом, днем и ночью, в дождь и туман. Однако на этом все достоинства и кончаются; дальше, увы, сплошные недостатки. Прежде всего, это очень рассеянный энергоресурс. Природа не собрала ветры в каких-то отдельных месторождениях, подобно горючим ископаемым. И не пустила их течь по руслам, подобно рекам. Всякая движущаяся воздушная масса размазана по огромной территории.

УДК 621.3.022

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ СЕТЕЙ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Сирисько К.В.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

При проектировании электрической системы необходимо учитывать возможность аварий, вследствие которых может произойти ухудшение качества электроэнергии или разрушение оборудования, поэтому электрические установки снабжаются специальными электрическими автоматами – реле защиты.

Релейная защита – комплекс автоматических устройств, предназначенных для быстрого выявления и отделения от электроэнергетической системы поврежденных элементов в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы.

В настоящее время в сетях напряжением до 35 кВ часто применяется резистивное заземление нейтрали – заземление нейтрали через активное сопротивление.

Возможны два варианта реализации резистивного заземления нейтрали высокоомный или низкоомный.

Защита от замыканий на землю при низкоомном резистивном заземлении нейтрали должна обеспечивать селективное отключение поврежденного присоединения за минимально возможное время. Защита должна выполняться в соответствии с требованиями.

Защита от замыканий на землю при высокоомном резистивном заземлении нейтрали и комбинированном заземлении нейтрали должна обеспечивать селективную сигнализацию поврежденного присоединения.

Уменьшить величину дуговых перенапряжений и число замыканий на «землю» можно за счет включения в нейтраль сети высокоомного резистора величиной от нескольких сотен Ом до нескольких кОм. Высокоомный резистор в нейтрали сети обеспечивает стекание заряда за время, равное полупериоду промышленной частоты. Включение резистора в нейтраль сети позволяет получить в месте повреждения активную составляющую тока, примерно равную емкостной.

При высокоомном заземлении нейтрали резистор выбирается таким образом, чтобы ток, создаваемый им в месте однофазного повреждения, был равен или больше емкостного тока сети.

Соответственно высокоомное заземление нейтрали может применяться только в сетях с малыми собственными емкостными токами до 5–7 А.

При низкоомном заземлении нейтрали используется резистор, создающий ток в пределах 10–2000 А. Величина тока, создаваемого резистором, выбирается исходя из нескольких конкретных условий: стойкость опор воздушных линий, оболочек и экранов кабелей к протеканию такого тока однофазного замыкания; наличие в сети высоковольтных электродвигателей и генераторов; чувствительность релейной защиты.

Достоинствами резистивного заземления нейтрали являются:

- отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и множественных повреждений в сети;
- отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю;
- исключение феррорезонансных процессов и повреждений трансформаторов напряжения;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании;
- практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное;
- простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.

Использование резистивного заземления нейтрали позволяет ограничить перенапряжения при дуговых замыканиях за счет разряда емкости здоровых фаз и снижения напряжения на нейтрали до значений, исключающих последующие пробои ослабленной изоляции аварийной фазы. Кроме того, практически исключаются опасные феррорезонансные явления, что в свою очередь так же приводит к повышению надежности рассматриваемых сетей.

Отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях и возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали.

Таким образом, преимущества, перечисленные выше, способствовали широкому распространению такого режима заземления нейтрали в разных странах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ

Залозный Р.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Микропроцессорное устройство релейной защиты (МП РЗ) – устройство релейной защиты, управляющая часть которых реализована на базе микропроцессорной элементной базе.

В настоящее время МП РЗ являются основным направлением развития релейной защиты. Помимо основной функции – аварийного отключения энергетических систем, МП РЗ имеют дополнительные функции по сравнению с устройствами релейной защиты других типов (например, электромеханическими реле) по регистрации аварийных ситуаций.

Вторичные токи и напряжения контролируемого объекта являются входными сигналами микропроцессорной системы защиты (МСЗ). К их информационным параметрам относятся частота, амплитуда и фазовые сдвиги. Величины, которые определяются в МСЗ по этим параметрам, называются контролируемыми.

Многие МСЗ в качестве полезной информации используют параметры синусоидальных сигналов основной частоты, которые можно выделить из сложных входных токов и напряжений, применяя соответствующие частотные фильтры.

Одной из основных задач, которые приходится решать на этапе разработки МСЗ, является выбор шага дискретизации Δt входных сигналов, подвергшихся предварительной аналоговой фильтрации. Существенное влияние на быстродействие МСЗ и точность восстановления входных сигналов оказывает величина Δt . Оптимальное значение Δt зависит от многих факторов, и с учетом которых может быть наиболее достоверно определено методом вычислительного эксперимента, при проведении которого необходимо иметь диапазон возможных значений Δt .

Теорема Котельникова содержит теоретическое обоснование выбора шага дискретизации аналоговых сигналов с ограниченным спектром частот.

Определение амплитуд входных токов и напряжений в МСЗ сводится к нахождению амплитудных значений сигналов основной частоты. Оно может производиться по ортогональным составляющим сигнала либо на основе непосредственных операций с отсчетами его мгновенных значений.

Для получения ортогональной составляющей (ОС) основной частоты целесообразно использование формирователя ортогональных составляющих (ФОС), которые также выполняют частотную фильтрацию входного сигнала. Более предпочтительны для этой цели частотно-независимые ФОС, которые обеспечивают стабильность амплитуды сигнала при любой частоте.

Амплитуду сигнала основной частоты можно вычислить без формирования ОС по двум или трем отсчетом его мгновенных значений. В этом случае входной сигнал предварительно подвергается аналоговой фильтрации фильтром нижних частот (ФНЧ), из выходного сигнала которого с помощью ЦФ выделяется составляющая основной частоты.

В МСЗ могут применяться только быстродействующие методы определения фазовых сдвигов. При этом δ не должен зависеть как от входных сигналов в широком диапазоне их изменения, так и от отклонений частоты от номинальной.

Основное влияние на точность получения δ оказывают аperiodическая составляющая и высшие гармоники, степень подавления которых зависит от параметров ФОС.

Методы определения частоты должны обеспечивать высокую точность в широком диапазоне изменений входного напряжения, быстродействие в несколько периодов и достаточную надежность. Наибольшее распространение в релейной защите (РЗ) получили цифровые способы измерения частоты, основанные на счете числа периодов входного сигнала за определенный промежуток времени либо на фиксировании количества импульсов

эталонного генератора за несколько периодов входного напряжения. Эти методы удобно использовать в МСЗ с цифровой обработкой длительностей время импульсных сигналов. В МСЗ с цифровой обработкой отсчетов мгновенных значений сигналов наиболее целесообразно определять частоту по указанным отсчетам, что не требует привлечения дополнительных аппаратных средств.

Литература

1 Андрианов, В. Н. Микропроцессорная релейная защита / В. Н. Андрианов, Д. Н. Быстрицкий, К. П. Вашкевич. – М. : Госэнергоиздат, 2003. – 294 с.

2 Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок : учебное пособие / Ф. А. Романюк. – Минск : Технопринт, 2001. – 133 с.

УДК 621.311

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ермола Д.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Внедрение приборов определения места повреждения началось в нашей стране в 60-х годах и в настоящее время большинство линий напряжением 110 кВ и выше оснащено такими приборами.

Известно большое количество различных методов определения места повреждения (ОМП) и определения места короткого замыкания (ОМКЗ).

Прежде всего, методы делятся на дистанционные и топографические. Топографические методы подразумевают определение искомого места непосредственно при движении по трассе, и средства топографического отыскания места повреждения находятся в распоряжении поисковой бригады. Дистанционные методы подразумевают использование приборов и устройств, устанавливаемых на подстанциях и указывающих расстояние до повреждения.

Другое деление методов – на высокочастотные и низкочастотные. Под низкочастотным диапазоном подразумеваются частоты от нуля до нескольких килогерц. Под высокочастотным – десятки килогерц.

В настоящее время в энергосистемах преимущественное распространение получили методы определения места КЗ, основанные на измерении параметров нулевой последовательности, несмотря на то, что при этом невозможно определить место междуфазного замыкания.

Фиксирующие приборы используются в энергосистемах преимущественно для фиксации симметричных составляющих токов и напряжений нулевой или обратной последовательности. Передача показаний фиксирующих приборов может быть осуществлена автоматически по телеканалу, а для расчетов диспетчером могут быть использованы различные вычислительные средства. В последние годы в энергосистемах получили распространение фиксирующие омметры ФИС.

Определение мест повреждения по показаниям фиксирующих приборов на ВЛ электропередачи производится путем двухсторонних или односторонних измерений параметров аварийного режима. Выбор метода определения места повреждения зависит от конкретных условий – конфигурации сети, параметров контролируемой линии и другие.

Внедрение фиксирующих приборов для определения мест повреждения в электрических сетях 6–750 кВ является одним из важных факторов повышения надежности электроснабжения потребителей, снижения потерь электроэнергии в сетях, обеспечения экономичности эксплуатации и безопасности обслуживания электрических сетей.

В настоящее время известно несколько модификаций фиксирующих приборов с запоминающими конденсаторами. Они различаются в основном схемами считывающих устройств и конструкциями воспроизводящих элементов. К этой группе фиксирующих приборов относятся приборы ФИП, ФИ11-1 и ФИП-2, ЛИФП, Ф11Т, ФПН и ФИС. Считывающее устройство этих приборов выполнено в виде вспомогательного конденсатора и измерительного реле, производящих разряд запоминающего конденсатора дискретными ступенями. Выходным элементом приборов является счетчик импульсов, регистрирующий число циклов разряда.

Применение современных средств для определения мест повреждения существенно улучшает технико-экономические показатели электроснабжения народного хозяйства,

повышает надежность работы энергосистем, сокращает аварийный недоотпуск электроэнергии потребителям и значительно сокращает трудозатраты на отыскание повреждений.

Литература

Кузнецов, А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи / А.П. Кузнецов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 94 с.

ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Селивонюк Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Делительные защиты, как правило, должны быть селективными и не производить отделения электростанций в тех случаях, когда связь с системой не нарушается, например, при коротких замыканиях на линиях, отходящих от шин электростанций и подстанций и не являющихся линиями связи станции с системой.

Применяются следующие основные типы делительных защит электростанций малой мощности, используемые в различных сочетаниях:

- делительная защита, действующая при понижении частоты;
- делительная защита, действующая при понижении напряжения;
- делительная защита, реагирующая на появление симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей тока или напряжения в режиме короткого замыкания.

Выбор делительных защит для конкретных энергетических узлов с небольшими электростанциями должен производиться одновременно с выбором релейной защиты и устройств противоаварийной автоматики: АПВ, АВР, АЧР и др. Определение необходимости установки делительной защиты. Прежде чем приступить к выбору устройств противоаварийной автоматики и в том числе делительных защит, необходимо проанализировать многолетние данные по режимам работы электростанции и потребляемой мощности в наиболее характерные периоды времени (зимний максимум, весенний паводок, воскресные дни, ночное время). Эти данные могут иметь решающее значение при выборе средств противоаварийной автоматики.

В настоящее время делительные защиты выполняются в виде комплекса защит, состоящего обычно из следующих обязательных элементов, взаимно дополняющих друг друга:

- защиты по снижению частоты;
- защиты по снижению напряжения;
- защиты, реагирующей на появление симметричных составляющих тока, напряжения или мощности.

Делительные защиты являются частью комплекса автоматических устройств, предназначенных для ликвидации аварийных режимов, вызванных отделением от системы узлов нагрузки с электростанциями небольшой мощности. При выборе и расчете этих устройств необходимо обеспечить их согласованные последовательные действия.

Наибольший интерес представляет опыт эксплуатации следующих делительных защит.

1. Делительная защита установлена на подстанции 110/35/6 кВ, связанной с энергосистемой одной линией 110 кВ. Через подстанцию осуществляется параллельная работа системы с несколькими тепловыми и гидравлическими электростанциями общей мощностью более 30 МВт.

2. Делительная защита установлена на ТЭЦ мощностью 12 МВт, связанной с системой одной линией (аналогично ТЭЦ-2 на рисунок 2). Мощность района нагрузки в 2,5 раза превышает мощность ТЭЦ. Защита предназначена для обеспечения АПВ этого района.

3. Делительная защита установлена на тепловой электростанции энергосистемы, связанной с системой одной двухцепной линией небольшой протяженности. При отключении линии связи возникает большой дефицит мощности, который приводит к полному погашению электроприемников этого узла. Для предотвращения подобных аварий было разработано устройство АПВ района нагрузки с делительной защитой по снижению частоты и напряжения. Защита действует на отделение генераторов с частью нагрузки и собственными нуждами.

4. Делительные защиты установлены на двух промышленных ТЭЦ мощностью 14 и 25 МВт, отстоящих на расстоянии 30 км одна от другой и подключенных к одной линии 110 кВ связи с системой.

Делительные защиты, которые устанавливаются на работающих параллельно с энергосистемой электростанциях малой мощности и действуют на их отделение частью нагрузки, предназначены, главным образом, для решения двух основных задач: предотвращения лавинообразного снижения частоты и напряжения вследствие большой перегрузки генераторов; предотвращения опасного несинхронного включения генераторов малой мощности при АПВ линий, связывающих энергосистему с электростанциями.

УДК 621.373.13

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА НА КРУ

Якимчик А.А., Кулак И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Дуговая защита шин (ДуЗШ) или защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) применяется для защиты сборных шин и элементов ошиновки распределительных устройств 6–10 кВ, размещенных в закрытых отсеках.

Может применяться только в КРУ, где все токоведущие части размещены в закрытых отсеках.

Выполнена блокировка защиты по току питающих присоединений.

Значительную опасность для комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6–10 кВ представляют внутренние короткие замыкания (КЗ).

Издание приказов по оснащению быстродействующими защитами от внутренних дуговых КЗ.

Технические решения защиты от дуговых КЗ, реализующие в основном контроль параметров тока и светового потока.

Дуговое КЗ сопровождается как изменением параметров и характеристик электрической сети, так и существенным повышением температуры, давления, электропроводимости и теплового (светового) излучения внутри отсеков КРУ.

Основные способы распознавания дуговых КЗ: способы, основанные на контроле параметров и характеристик электрической цепи с дугой; способы, основанные на контроле параметров электрической дуги и сопутствующих ей явлений.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ).

Положительными качествами МТЗ являются простота, высокая элементная надежность и низкая стоимость.

Ограничивающими факторами применения МТЗ являются относительная селективность и недостаточно высокое быстродействие.

Требованию абсолютной селективности отвечают токовые дифференциальные защиты и «логические защиты шин» (ЛЗШ).

«Мертвой» зоной этих защит являются отсеки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и кабельной разделки.

Для контроля температуры в ячейке могут быть использованы контактные и дистанционные методы.

Для защиты КРУ в настоящее время применяются устройства, реагирующие на повышение давления на фронте ударной волны в начальный момент дугового КЗ.

Оптико-электрические дуговые защиты по типу используемых датчиков можно разделить на две группы: с полупроводниковыми фотодатчиками и с ВОД.

Дуговая защита КРУ должна строиться с учетом его конструктивных особенностей и типов коммутационных аппаратов.

Датчик дуговой защиты – это датчик, способный регистрировать возникновение электрической дуги.

Важным элементом дуговой защиты является полимерный кабель.

Дуговая защита VAMP – система защиты комплектных распределительных устройств низкого и среднего напряжения от дуговых коротких замыканий.

Литература

1. Нагай, В.И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей / В.И. Нагай. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.

2. Нагай, В.И., Сарры, С.В. Определение чувствительности опико-электрических защит от дуговых коротких замыканий в комплектных распределительных устройствах напряжением 6–10 кВ // Изв. вузов. Электромеханика / В.И. Нагай, С.В. Сарры. – 1999. – № 1. – С. 48–51.

УДК 681.3.06

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ 0,4 кВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Дубовский А.А., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

Расчеты токов короткого замыкания (КЗ) в сетях напряжением до 1 кВ выполняются для выбора коммутационной аппаратуры, шинопроводов, кабелей и другого электрооборудования с целью проверки их по условиям термической и динамической стойкости, а также для выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики и проверки их чувствительности. Короткие замыкания в электрических сетях напряжением до 1 кВ являются одними из наиболее опасных аварийных режимов, ибо, как правило, являются первопричиной пожаров в электроустановках и кабельном хозяйстве.

Следует отметить, что значительная разветвленность сетей напряжением до 1 кВ электрической станции, большое количество коммутационной и защитной аппаратуры создают условия для возникновения аварийной ситуации, при которых короткое замыкание переходит из одного вида в другой, более опасный. В отличие от сетей напряжение выше 1 кВ эти КЗ в большинстве случаев являются дуговыми, а не металлическими, что объясняется конструктивными особенностями этих сетей.

Поэтому при расчетах токов КЗ для проверки оборудования на термическую и динамическую стойкости и выбора аппаратуры по отключающей способности выполняются расчеты металлических КЗ, т. к. в этом случае значения токов КЗ являются максимальными. При проверке чувствительности устройств релейной защиты и защитных аппаратов выполняются расчеты дуговых КЗ, т. к. при этом значения токов КЗ являются минимальными.

Расчеты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ имеют ряд особенностей по сравнению с расчетами токов КЗ в сетях напряжением выше 1 кВ.

К ним относятся следующие:

- учет активных сопротивлений всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- учет индуктивных сопротивлений всех вышеперечисленных элементов короткозамкнутой цепи;
- учет активных сопротивлений различных контактов и контактных соединений;
- учет сопротивления электрической дуги в месте КЗ;
- учет параметров асинхронных двигателей, если суммарный номинальный ток этих двигателей превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей.

Дополнительно следует отметить, что в соответствии с ПУЭ влияние асинхронных двигателей на ток КЗ не учитывается, если ток от них поступает к месту КЗ по тем же элементам, по которым протекает основной ток КЗ от сети и которые имеют значительные сопротивления. Для сети 0,4 кВ такими элементами являются трансформаторы, воздушные и кабельные линии и переходные сопротивления в месте КЗ. Это означает, что влияние асинхронных двигателей на ток КЗ следует учитывать, если двигатели подключены либо непосредственно к месту КЗ, либо через кабельные и воздушные линии.

Кроме того, в сетях напряжением до 1 кВ рекомендуется учитывать изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи, в основном кабелей, вследствие их нагрева токами.

УДК 621.373.13

АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА. ДЕМФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ

Шульга Е.В., Алексеев С.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

Полимерный изолятор – это устройство, предназначенное для изоляции и крепления проводов воздушных линий электропередачи (ВЛ) и распределительных устройств электростанций и подстанций, выполненные с применением композитных материалов.

Полимерные изоляторы состоят из стержня, определяющего механическую и электрическую прочность изолятора.

Для защиты от воздействия различных климатических факторов и создания необходимой длины пути утечки, на стержень наносится оболочка, выполненная из полимерных материалов.

Первые полимерные изоляторы, относящиеся к изоляторам первого поколения, изготавливались по так называемой «шашлычной» технологии, при которой оболочка наносилась на стеклопластиковый стержень вручную пореберной склейкой.

На изоляторах второго поколения был осуществлен переход на цельнолитую кремнийорганическую защитную оболочку на основе силиконов.

Повышение надежности полимерных изоляторов третьего поколения обеспечивается защитой от проникновения влаги самого слабого узла входа стержня в оконцеватель.

Методы испытаний полимерных изоляторов.

В основе спиральной арматуры лежат проволочные спирали, охватывающие провод.

Спиральная арматура по своему назначению подразделяется на виды.

Применение многороликовых поддерживающих подвесов типа ПР является одним из типовых проектных решений для подвески проводов на переходах ВЛ.

Многолетняя практика показывает, что многозвенный трубчатый протектор не является оптимальным решением по защите проводов.

При использовании реле частоты РЧ-1 установка реле времени не требуется.

Для предотвращения повторного разрушения на новый провод вместо алюминиевых муфт МЗ установили протектор спирального типа.

Спиральный протектор обладает рядом существенных преимуществ перед защитными алюминиевыми муфтами.

Гасители вибрации предназначены для защиты неизолированных проводов и молниезащитных тросов воздушных линий электропередачи.

Принцип работы гасителя.

Провода волоконных линий напряжением 6–10 кВ, монтаж которых был произведен на подвесных изоляторах, можно защищать от раскачивания и вибрации, используя гаситель петлевого типа.

Гасители мостового типа бывают с глухим креплением на проводе и сбрасывающийся для перехода.

Проводятся эксперименты по созданию искусственных колебаний исследуемых образцов виброзащитных устройств.

Ведущую роль для эффективности энергопоглощения играют величины и соотношения показателей жёсткостных и диссипативных свойств упругого демферного элемента (троса).

Литература

Виноградов А. А., Рыжов С. В. Гасители вибрации, – Минск: Лоранж-2, 2005.

УДК 621.3.022

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Щербицкий А.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Дифференциальная защита уже достаточно широко применялась к концу 19 века и является одной из первых систем защит в истории.

Защищаемая зона четко определяется местами установки измерительных трансформаторов тока. Тем самым, для защиты от внешних коротких замыканий необходимо применение резервной защиты, действующей с выдержкой времени (таковой может являться токовая ступенчатая защита или дистанционная защита).

Дифференциальная токовая защита является наиболее простой и часто используемой реализацией дифференциального принципа. Измерительные трансформаторы тока, установленные по концам защищаемой зоны, имеют последовательно соединенные вторичные цепи.

При реализации защиты сборных шин, необходимо суммировать токи нескольких присоединений. В нагрузочном режиме или при внешнем коротком замыкании, векторная сумма данных токов равна нулю, поэтому через устройство защиты дифференциальный ток не протекает.

При реализации цифровой защиты, все больше используется цифровая передача данных. Тем самым, измеряемые величины преобразуются в цифровой вид, и их передача осуществляется по выделенной волоконно-оптической линии связи или через цифровую систему обмена данными.

В современных цифровых устройствах защиты согласование и обработка измеряемых величин производится в цифровом виде. Тем самым, достигаются преимущества по сравнению с системами аналогового измерения. Цифровые фильтры и интеллектуальные алгоритмы обеспечивают высокую точность измерений и гибкость задания параметров.

Удаленное управление устройствами защиты обычно осуществляется через частную телефонную сеть ISDN (Integrated Services Digital Network — цифровая сеть с интеграцией служб, позволяющая совместить услуги телефонной связи и обмена данными) при использовании подходящих модемов.

Синхронизация выборок измеряемых величин (комплексных амплитуд) осуществляется через канал передачи данных при использовании современных устройств защиты.

Задержки передачи непрерывно контролируются и автоматически компенсируются защитой.

Повреждения проводов канала связи происходят, время от времени из-за земляных работ. Поэтому особенно рекомендуется мониторинг длинных проводных каналов связи.

Современные устройства защиты компактны и, помимо основной функции (в нашем случае, функции дифференциальной защиты), обладают рядом дополнительных функций (к примеру, функцией токовой ступенчатой защиты и функцией защиты от перегрузки), а также дополнительными функциями управления и измерения.

Представляется возможным осуществлять местное управление устройствами при помощи клавиатуры и дисплея лицевой панели устройства. Однако обычно для этой цели используется ПК с предустановленным программным обеспечением DIGSI.

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Норко Н.С.

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

Квазистационарные перенапряжения относятся к внутренним, они продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические. Режимные перенапряжения возникают при несимметричных коротких замыканиях на землю, а также при разгоне генератора в случае резкого сброса нагрузки. Резонансные перенапряжения имеют место при возникновении резонансных эффектов в линиях (при одностороннем питании линии), в электрических цепях при наличии реакторов. Феррорезонансные перенапряжения возникают в цепях с катушками с насыщенным магнитопроводом, что может быть, как на частоте 50 Гц, так и на высших гармониках, и на субгармониках. Особенностью феррорезонанса является скачкообразный вход в режим резонанса (триггерный эффект).

Квазистационарные перенапряжения продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические.

При рассмотрении квазистационарных процессов можно не учитывать продольные активные и индуктивные сопротивления воздушных и кабельных линий, генераторов, трансформаторов, а также междуфазные проводимости линий и нагрузок. Эти проводимости включены на источники неизменных линейных напряжений и не влияют на напряжения относительно земли. Эквивалентные проводимости фаз сети на землю определяются собственными емкостями на землю кабелей, воздушных линий, генераторов и другого оборудования сети. Емкость на землю сетей 6–35 кВ различного назначения изменяется в широких пределах. Например, если в сетях собственных нужд электростанций токи однофазного замыкания на землю (прямо пропорциональные емкости сети) лежат в диапазоне 2–5 А, то в кабельных сетях крупных городов и промышленных предприятий они могут достигать нескольких сотен ампер.

УДК 621.373.13

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Тимофеев В.О.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

Делительные защиты являются особой частью такой важнейшей области электроэнергетики, как релейная защита, автоматика и управление.

В замкнутых распределительных сетях делительные защиты предназначены: для автоматического деления сети при возникновении асинхронного режима частей энергосистемы; для автоматического деления сети при коротком замыкании (КЗ) на элементах высшего напряжения.

В нормально разомкнутых распределительных сетях, оборудованных устройствами автоматического ввода резерва (АВР), делительные защиты предназначены для действия перед АВР в целях предотвращения перегрузки трансформаторов и линий в режимах после АВР.

В распределительных сетях с параллельно работающими местными электростанциями относительно небольшой мощности делительные защиты предназначены для отделения в аварийных условиях этих электростанций на самостоятельную (изолированную) работу в целях сохранения питания их собственных нужд.

Наиболее просто защита выполняется с помощью трех токовых реле, включенных на фазные токи; контакты всех этих трех токовых реле включены последовательно.

Коэффициент чувствительности должен составлять 1,5–2.

Время срабатывания делительной защиты выбирается по условиям селективности с защитами элементов прилегающей сети, а также по условию термической стойкости этих элементов и обычно находится в пределах от 1 до 2 секунд.

Действие сетевого АВР должно быть однократным.

В настоящее время, как и прежде, к государственным энергосистемам подключается большое число промышленных и других электростанций, работающих изолированно.

Частота срабатывания делительной защиты от понижения частоты выбирается обычно равной 47–48 Гц.

Делительная защита по снижению напряжения выполняется также как пусковой орган минимального напряжения схемы АВР.

В зависимости от скорости снижения частоты схема избирательной делительной защиты действует на отключение менее ответственных электроприемников (подобно АЧР) или на отключение генераторов

Несмотря на сравнительно ограниченную область применения делительных защит по скорости снижения частоты, из многолетнего опыта эксплуатации известен ряд случаев их успешного использования, как для постоянных, так и для переходных схем энергоузлов с электростанциями.

Установка делительных защит экономически целесообразна и может потребоваться для электростанций, уже работающих в энергосистеме, если потребляемая мощность их района нагрузки становится значительно больше мощности электростанции, а несинхронное включение их генераторов недопустимо.

Литература

Гончарук А.И. Расчёт, конструирование и принцип действия генераторов / А.И. Гончарук. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 348 с.

УДК 621.373.13

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА

Яловчик Н. Н.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

Модель – некоторый объект, с помощью которого исследуются свойства оригинала и находящегося во взаимозначном соответствии с ним и более доступном для изучения.

Она достоверно отображает некоторые свойства оригинала, подлежащие изучению. Модель должна быть наглядной, простой и доступной для изучения.

При составлении математической модели генератора не учитываем магнитное насыщение генератора.

В воздушном зазоре машины действуют намагничивающие силы только первой гармоники, следовательно, ЭДС синхронного генератора – синусоидальный.

Также не учитываем потери на перемагничивание, считаем, что обмотки статора выполнены симметрично, а ротор генератора симметричен относительно осей d и q , все демпферные обмотки по оси d заменены одной демпферной обмоткой аналогичной по оси q .

Находим уравнение баланса напряжений, уравнение статора и ротора. Вычисляем потокосцепления фазы A, B, C, f .

Первая система уравнений, дополненная второй системой уравнений и уравнениями внешней цепи генератора представляет собой математическую модель СГ в фазных координатах.

С целью упрощения модели представляем её в виде 9 суперблоков.

Первый суперблок моделирует переменные коэффициенты в уравнения для определения потокосцепления.

Второй, третий, четвертый и пятый суперблоки моделируют потокосцепление, шестой, седьмой и восьмой имитирует фазное напряжение, девятый воспроизводит ток в обмотках возбуждения.

Первый суперблок состоит из двенадцати подблоков.

Первые три моделируют постоянные коэффициенты L_0, M_0, L_2, M_2 .

При реализации модели СГ в первую очередь необходимо смоделировать постоянные коэффициенты L_0, M_0, L_2, M_2 .

Каждый из трёх подблоков представляем в виде субблоков.

Каждый из подблоков преобразуем в субблок аналогично первым трём подблокам, при этом соединяя одноимённые входы и выходы подблоков.

Моделируем потокосцепления, связанные с соответствующими обмотками. Преобразуем суперблоки $Sb_2 - Sb_5$ в субблоки.

Подблоки четыре, пять, шесть моделируют индуктивности LA, LB, LC .

Моделируем фазные напряжения в обмотках статора. Воспроизводим ток в обмотке возбуждения.

Преобразуем каждый из суперблоков в субблоки и соединяем их одноимённые входы и выходы с предыдущими блоками.

Подблоки десять, одиннадцать, двенадцать моделируют взаимоиндукцию между обмотками возбуждения и фазными обмотками статора.

Этот блок Ssb содержит в себе все суперблоки и их подблоки.

На вход этого основного блока подаем напряжения в фазных обмотках и их потокосцепления.

Подключив осциллографы к соответствующим выходам SSb , наблюдаем изменение фазных напряжений и тока в обмотке возбуждения синхронного генератора в режиме холостого хода.

Объединяем фазные напряжения для просмотра в одной системе координат.

Так как, в данной модели фазные токи равны 0, то это модель синхронного генератора в режиме холостого хода.

Работа реализована в программном обеспечении *VisSim*.

Литература

Важнов А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – Ленинград: Энергия, 1980. – 256 с.

УДК 621.373.13

ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Пылинская Е.Р., Чирич В.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Делительные защиты устанавливаются на станциях малой мощности, работающих параллельно с энергосистемой

Возможные аварийные ситуации, вызванные нарушением связи станции с системой.

При отключении ВЛ или трансформатора станции отделяется от энергосистемы с частью сети и нагрузкой, значительно превышающей мощность ее генераторов.

При отключении ВЛ в отделившемся районе образовался небольшой дефицит мощности и станция продолжает работать.

Нарушение связи с системой произошло в результате короткого замыкания на ВЛ.

Для снятия напряжения ВЛ со стороны станции наиболее целесообразно отключить выключатель СВ.

Защиты от внешних коротких замыканий не могут в ряде случаев обеспечить отделение станции из-за их недостаточной чувствительности к удаленным коротким замыканиям.

Способы выполнения делительных устройств

Выбор того или иного типа защиты должен производиться с учетом местных условий.

Отделение от системы в районе может образоваться лишь небольшой дефицит мощности, делительная защита по снижению частоты окажется малоэффективной.

Защита по снижению частоты выполнена с дополнительным реле времени.

Полное время от момента отключения линии связи станции с системой до момента срабатывания этой делительной защиты

При использовании реле частоты РЧ-1 установка реле времени не требуется.

Делительная защита по снижению напряжения выполняется также, как пусковой орган минимального напряжения схемы АВР.

Время срабатывания определяется требованиями селективности с защитами смежных элементов.

После действия делительной защиты может произойти отделение генераторов с нагрузкой

Дежурный персонал не в состоянии изменять направления действия делительной защиты в зависимости от создаваемого режима работы и ожидаемого дефицита мощности.

Характер протекания процесса снижения частоты зависит от размера образовавшегося дефицита мощности.

Делительная защита может являться частью общесистемной разгрузки по частоте.

Скорость снижения частоты зависит не только от дефицита мощности.

Литература

Шабад М.А. Делительные защиты – автоматика деления при авариях. – Москва: Энергопрогресс, 2006. – 312 с.

СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Куликова А. С.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

Системы возбуждения предназначены для питания обмотки ротора постоянным током и соответствующего тока возбуждения. В настоящее время для регулирования тока возбуждения используют АРВ, которое реагирует на параметры генератора автоматически изменяя ток возбуждения в зависимости от режима его работы.

Электромашинные системы возбуждения, где источником энергии является генератор постоянного тока (возбудитель), использовались в течение длительного времени для большинства генераторов. Обычно они находились на одном валу с генератором и приводились во вращение той же турбиной, что и сам генератор. Такая система называется прямой. В случае, если возбудитель приводится во вращение отдельным двигателем, систему принято называть косвенной. В генераторостроении применяют, как правило, прямую систему возбуждения, имеющую меньшую стоимость и большую надежность. Электромашинные системы возбуждения, выпускавшиеся заводами более 30 лет назад и находящиеся до сих пор в эксплуатации, могут быть заменены на современные полупроводниковые статические системы с любым набором заданных функций. Достоинством этой системы возбуждения является ее высокая надежность и независимость от внешней сети. Недостатком же является невозможность использования для возбуждения синхронных генераторов по условиям надежной коммутации и механической прочности коллектора.

При большой мощности СГ мощность возбуждения становится больше мощности ГПТ, в связи с этим для возбуждения крупных машин применяют выпрямитель с полупроводниковым выпрямлением. В зависимости от способа получения постоянного тока различают две разновидности выпрямительных систем:

- система независимого возбуждения (СТН);
- система самовозбуждения (СТС).

В СТН группа статических выпрямителей преобразует переменный ток возбудителя в постоянный. Возбудитель находится на одном валу с основным генератором. На статоре имеется трехфазная обмотка с отпайками к которой подключены две группы тиристоров. Обе группы соединяются по трехфазной мостовой схеме. Возбудитель имеет обмотку возбуждения, питаемую от трансформатора через выпрямители. Система управления тиристорами питается от трансформатора, связанного системой АРВ. В нормальном режиме работы возбуждение основного генератора обеспечивается рабочей группой тиристоров, а форсировочная группа почти закрыта. В режиме форсировки возбуждения тиристоры, питающиеся от полного напряжения трехфазной обмотки возбудителя, открываются полностью и дают весь ток форсировки, а рабочая группа при этом запирается более высоким напряжением форсировочной группы. Достоинством СТН является наибольшее быстродействие. Скорость форсировки 50 ед/с позволяет производить замену вышедших из строя тиристоров без остановки синхронного генератора. Недостатком является наличие контактных колец и щеток.

Основными элементами СТС являются две группы выпрямителей неуправляемые и управляемые, которые получают питание от выпрямительного трансформатора подключенного к цепи возбуждаемого синхронного генератора. Также два трансформатора: последовательный и выпрямительный.

Управляемые выпрямители получают питание от выпрямительного трансформатора, вторичное напряжение которого пропорционально напряжению генератора. В номинальном режиме неуправляемые выпрямители обеспечивают восемьдесят процентов тока возбуждения генератора. Важным недостатком СТС является зависимость от внешней сети, также наличие контактных колец и щеток.

Подвод тока к контактным кольцам с помощью щеток недостаточно надежен, особенно при токах более 3000 А. Для мощных машин перспективной является бесщеточная система возбуждения. В этой системе в качестве возбудителя используется синхронный генератор особой конструкции, его обмотка возбуждения располагается на неподвижном статоре, а обмотка трехфазного переменного тока на вращающемся роторе. Недостаток этой системы – останов машины для подключения резервного питания и замены вышедших из строя диодов.

Для управления тиристорами выпрямителя используется система импульсно-фазового управления (СИФУ), выполняющая следующие функции:

- определение моментов времени, в которые должны открываться те или иные конкретные тиристоры; эти моменты времени задаются сигналом управления, который поступает с выхода САУ на вход СИФУ;

- формирование открывающих импульсов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров и имеющих требуемые амплитуду, мощность и длительность.

По способу получения сдвига открывающих импульсов относительно точки естественного открывания различают горизонтальный, вертикальный и интегрирующий принципы управления.

УДК 621.315/316.351

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

Тарасов В.С.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

Электрические установки могут нормально работать только с исправной изоляцией. В процессе эксплуатации из-за увлажнения, перегрева, динамических нагрузок и перенапряжений происходит общее старение изоляции, то есть ухудшение ее физико-химических характеристик. В изоляции возникают распределенные и местные (сосредоточенные) дефекты, которые в конечном итоге приводят к ее пробое. Чтобы своевременно выявлять развивающиеся дефекты и не допускать внезапных пробоев электрической изоляции, свойства ее в процессе эксплуатации периодически проверяют. Для этого производят периодический контроль и испытания изоляции, а в случае необходимости – ее ремонт. Такие мероприятия обеспечивают поддержание необходимой степени надежности электрооборудования в процессе его эксплуатации.

К первой группе профилактических методов контроля относятся так называемые неразрушающие испытания, при которых используются малые напряжения и различные косвенные способы оценки характеристик изоляции (измерение сопротивления изоляции, тангенса угла диэлектрических потерь, емкости и других параметров). Контроль параметров изоляции этими методами производится при малых напряжениях, которые не причиняют вреда электрооборудованию и не могут его разрушить. Поэтому их и называют неразрушающими методами контроля.

При неразрушающих испытаниях для оценки качества изоляции большое значение имеет изменение ее характеристик во времени. Поэтому с повышением частоты контроля увеличивается вероятность своевременного выявления дефектов.

Контроль изоляции в эксплуатации, обозначаемый часто термином «профилактика изоляции», служит для выявления дефектов в изоляционных конструкциях и последующей их замены или восстановления на месте.

Контроль изоляции по $\text{tg}\delta$ является одним из наиболее распространенных. Как показывает опыт, по значению $\text{tg}\delta$ можно установить наличие в изоляции различных по характеру дефектов.

При профилактических испытаниях качество изоляции оценивают только по абсолютной величине $\text{tg}\delta$, которую измеряют при напряжении не выше 10 кВ независимо от номинального напряжения оборудования. Измерения при более высоких напряжениях в условиях эксплуатации не проводятся, так как для этого требуется громоздкое оборудование.

Величину $\text{tg}\delta$ изоляции измеряют с помощью моста Шеринга.

Для контроля качества изоляции по $\text{tg}\delta$ в энергосистемах используются компактные переносные мосты типов МД-16 и Р-595, которые позволяют проводить измерения при напряжениях до 10 кВ по «нормальной» и «перевернутой» схемам. В качестве источника высокого напряжения обычно применяют измерительный трансформатор напряжения НОМ-10.

Внедрение неразрушающих методов диагностики силовых КЛ с использованием современного диагностического оборудования позволяет оценивать состояние изоляции и локализовать проблемные места в КЛ, не травмируя изоляцию КЛ; принимать обоснованное решение о дальнейшей эксплуатации или сроках замены кабелей, отработавших нормативный срок службы; рационально и обоснованно планировать сроки проведения ремонтов КЛ и в целом будет способствовать повышению надёжности работы силовых кабельных линий.

КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА АЭС И ИХ ПРОВЕРКА НА НЕВОЗГОРАЕМОСТЬ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Ментюк Т.В.

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

К кабельной продукции, эксплуатируемой в условиях атомных электростанций (АЭС), предъявляются чрезвычайно высокие требования.

Кабель должен на 100 % соответствовать существующим техническим нормам по показателям пожарной и взрывобезопасности, а также сейсмостойчивости.

Использования контрольного кабеля с низкими горючими свойствами, а также кабельной продукции с защитной оболочкой, стойкой к распространению огня.

Важно использовать низкодымные материалы, а также материалы, выделяющие при горении минимальное количество галогенсодержащих токсичных веществ.

На сегодняшний день лучше всех себя зарекомендовали при работе в условиях АЭС пожаробезопасные кабели, имеющие следующую маркировку:

- КуППнг(A)-HF;
- КуППмнг(A)-FRHF.

Маркировка кабелей осуществляется с использованием буквенных индексов, обозначающих степень пожарной безопасности такого изделия.

Пожароустойчивые кабельные изделия, не подверженные распространению огня по сети при одиночной прокладке.

Негорючий кабель нг(A), не распространяющий горение при пучковой прокладке коммуникаций по А-категории.

Кабельные изделия для АЭС нг(A)-LS. Продукция, которая не только не распространяет горение при пучковой прокладке, но и отличается минимальными показателями газодымовыделения.

Электрические кабели марки нг(A)-FRLS. Изделия, отвечающие техническим требованиям предыдущей группы пожарных кабелей, но при этом обладающие максимальной огнеустойчивостью.

Изделия с маркировкой нг(A)-HF. Кабель для атомных электростанций серии Halogen free, при горении не выделяющий в атмосферу опасных летучих соединений.

Негорючие кабельные изделия марки нг(A)-FRHF. Огнеустойчивые типы кабеля, не подверженные распространению горения при пучковой прокладке и не выделяющие при горении и тлении токсичных галогенных газов.

Характеристика кабеля типа КуППнг(A)-HF.

Характерной способностью данного кабеля являются следующие характеристики: изоляция жил – полимерная композиция, не содержащая галогенов, экран – обмотка из алюмополимерной ленты (спирально с перекрытием) и контактная медная луженая проволока, оболочка – полимерная композиция, не содержащая галогенов.

Характеристика кабеля типа КуППмнг(A)-FRHF.

Кабели предназначены для передачи сигналов в системах связи и в системах противопожарной защиты общепромышленного применения, в том числе в зданиях и сооружениях метрополитена, а также для присоединения измерительных преобразователей и исполнительных механизмов к программно-техническим средствам АСУТП для прокладки внутри основных технологических сооружений АЭС.

Методика проверки кабеля на невозгорание.

Определяется начальная температура жил кабеля (до короткого замыкания).

Определяется значение коэффициента K .

Определяется температура жил в конце короткого замыкания.

Результаты сравнивают с допустимыми.

УДК 621.315/316.351

ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Буров Н.А.

Научный руководитель – ассистент Климентионов А.К.

Преобразователь частоты – это устройство, преобразующее входное напряжение 220 В/380 В частотой 50 Гц, в выходное импульсное напряжение посредством ШИМ (широтноимпульсной модуляции), которое формирует в обмотках двигателя синусоидальный ток частотой от 0 Гц до 400 Гц или даже до 1600 Гц.

По типу питающего напряжения преобразователи частоты делятся на следующие виды: с однофазным питанием (однофазный); с трехфазным питанием (трехфазный); высоковольтные устройства.

По типу управляемого электрического двигателя, подключенного к преобразователю, устройства разработаны для управления: однофазными двигателями с расщепленными полюсами и однофазные конденсаторные электрические двигатели; трехфазными асинхронными электрическими двигателями переменного тока; электрическими двигателями с постоянными магнитами.

По области применения типы частотных преобразователей будут следующими:

общепромышленного назначения; векторный преобразователь частоты; для управления механизмами, имеющими насосно-вентиляторный тип нагрузки; частотные преобразователи для кранов и прочих подъемных механизмов; адаптированный для использования в тяжелых условиях (частотный преобразователь взрывозащищенный); децентрализованный частотно регулируемый преобразователь, монтируемый непосредственно на электрический двигатель.

Электронный преобразователь частоты состоит из схем, в состав которых входит тиристор или транзистор, которые работают в режиме электронных ключей. В основе управляющей части находится микропроцессор, который обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

Выходное напряжение преобразователя формируется из «вырезанных» участков синусоид входного напряжения. Частота выходного напряжения у таких преобразователей не может быть равна или выше частоты питающей сети. Она находится в диапазоне от 0 до 30 Гц, и как следствие – малый диапазон управления частотой вращения двигателя (не более 1–10).

Преобразователи частоты являются нелинейной нагрузкой, создающей токи высших гармоник в питающей сети, что приводит к ухудшению качества электроэнергии.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространенным способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления. Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока. Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. В выходных

каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет выработать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

Применение частотных преобразователей позволило успешно реализовать эффективные системы регулирования скорости нижеприведенных объектов: насосы горячей/холодной воды в системах тепло- и водоснабжения; вспомогательные агрегаты котельных, ТЭС, ТЭЦ и котлоагрегатов; дробилки, мельницы, экструдеры и мешалки; различные песковые и пульповые насосы обогатительных фабрик; лифтовые установки; центрифуги разных типов; производственные линии картона, пленки и прочих ленточных материалов; крановое и эскалаторное оборудование; механизмы силовых манипуляторов; приводы буровых станков, специализированного оборудования и так далее.

Этот тип оборудования позволяет получить существенный экономический эффект: экономия до 50 % электроэнергии в агрегатах путем поддержания двигателя в режиме оптимального КПД; увеличение объема и оптимизация качества выпускаемой продукции; повышение уровня производительности производственного оборудования; снижение степени износа механических звеньев; продление срока эксплуатации технологического оборудования, коммутационной аппаратуры.

Важно для сетей переменного тока система использующая преобразователь частоты служит нелинейной импульсной нагрузкой, где присутствуют токовые гармоники, отрицательно влияющие на качественные параметры линии электропередач в зависимости от значения сопротивления линии. Высшие гармоники обладают более низкой амплитудой и тем легче могут быть отфильтрованы. Гармонические токи способствуют увеличению электрических потерь и снижению коэффициента мощности, способствуют перегреву элементов сети, например: кабелей, трансформаторов, двигателей, конденсаторов.

Применение частотно-регулируемого электропривода является экономически выгодным и эффективным. Поэтому необходимо использовать его повсеместно для получения продукции самого высокого качества без лишних затрат на электроэнергию и ремонты приводных электродвигателей.

В конечном итоге, назначение преобразователя частоты – это обеспечение максимально эффективной и продуктивной работы оборудования со всеми вытекающими положительными аспектами.

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мазур А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л. В.

В работе представлена информация о трансформаторе предложенного в задании.

Областью возможного практического применения является система автоматического регулирования в качестве элементов (датчиков угла) для измерения рассогласования между двумя вращающимися осями.

Вращающимися трансформаторами (ВТ) называют электрические микромашины переменного тока, преобразующие угол поворота ротора θ в напряжение, пропорциональное этому углу или некоторым его функциям. В зависимости от закона изменения напряжения на выходе их подразделяют на следующие типы:

- синусно-косинусный трансформатор, позволяющий получать на выходе два напряжения, одно из которых пропорционально $\sin \theta$, а другое – $\cos \theta$;
- линейный вращающийся трансформатор, выходное напряжение которого пропорционально углу θ ;
- вращающийся трансформатор-построитель, выходное напряжение которого имеет связь с подаваемыми первичными напряжениями U_1 и U_2 в виде закона

$$U_{\text{ВЫХ}} = C \sqrt{U_1^2 + U_2^2},$$

где C – постоянная.

В технической литературе иногда употребляют термин «поворотные трансформаторы».

Вращающиеся (поворотные) трансформаторы предназначены для получения переменного напряжения, значение которого зависит от угла поворота ротора. По назначению вращающиеся трансформаторы относятся к информационным электрическим машинам и применяются в системах автоматического регулирования в качестве элементов (датчиков угла) для измерения рассогласования между двумя вращающимися осями. Вращающийся трансформатор конструктивно представляет собой электрическую машину индукционного типа малой мощности. Наибольшее применение получили двухполюсные вращающиеся трансформаторы с двумя парами одинаковых взаимно перпендикулярных обмоток.

Устройство вращающихся трансформаторов

Вращающийся трансформатор выполняют так же, как асинхронный двигатель с фазным ротором. На статоре и роторе размещают по две одинаковые однофазные распределенные обмотки, сдвинутые между собой в пространстве на 90° . Магнитопровод изготовляют из листов электротехнической стали или пермаллоя, изолированных друг от друга.

Вращающийся трансформатор может работать в режиме поворота ротора или в режиме вращения.

При работе вращающегося трансформатора в режиме непрерывного вращения обмотки возбуждения и компенсационную обычно размещают на роторе, а синусную и косинусную – на статоре. В этом случае компенсационную обмотку замыкают накоротко, а обмотку возбуждения подключают к сети переменного тока с помощью двух контактных колец.

Принцип действия вращающихся трансформаторов

Во вращающихся трансформаторах принимают меры к тому, чтобы распределение магнитной индукции в воздушном зазоре было по возможности близким к синусоидальному. Достигается это за счет специального выполнения обмоток, выбора соответствующего числа пазов статора и ротора, применения скоса зубцов и тщательного изготовления магнитопровода.

В зависимости от того, какая из обмоток используется, получаем синусный или косинусный, а при использовании обеих обмоток ротора синусно-косинусный вращающийся трансформатор.

При нагрузке по обмоткам ротора потечет ток, который создает магнитные потоки, направленные вдоль осей этих обмоток. Поток каждой обмотки можно разложить на две составляющие – продольную, совпадающую с осью обмотки возбуждения, и поперечную, направленную перпендикулярно этой оси. Продольная составляющая потока обмотки ротора вместе с потоком обмотки возбуждения создают основной рабочий поток вращающегося трансформатора, который, как и в трансформаторе, зависит от подведенного напряжения и при $U_1 = \text{const}$ постоянен.

Для того чтобы избежать погрешностей от поперечных потоков, применяется симметрирование. Симметрирование может быть проведено как на вторичной, так и на первичной стороне. При симметрировании на вторичной стороне обе обмотки ротора замыкаются на одинаковую нагрузку $Z_{н1} = Z_{н2}$. В этом случае поперечные потоки обмоток будут численно равны, но так как они направлены встречно, то произойдет их взаимная компенсация.

В настоящее время для определения углового положения различных механизмов традиционно применяют синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). Применение СКВТ наиболее оправданно в аналоговых системах измерения угла поворота или высокоточных цифровых системах с аналоговым входом. По сравнению с цифровыми датчиками углового положения применение СКВТ позволяет достичь большей точности преобразования углового перемещения в электрический сигнал. В зависимости от назначения СКВТ могут работать как в режиме поворота в пределах заданного угла, так и в режиме непрерывного вращения.

Основным свойством ВТ является то, что при повороте его ротора взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора с высокой степенью точности изменяется по закону синуса или косинуса угла поворота. Вследствие этого эффективные значения ЭДС взаимоиндукции вторичных обмоток СКВТ строго следуют этим зависимостям.

УДК 621.315/316.351

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Козловский Н.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Благодаря применению в токоприемных цепях электростанций выключателей и других коммутационных и измерительных аппаратов можно в отличие от прямых блочных схем соединения генераторов с трансформаторами осуществлять гибкие автоматические схемы соединений, маневрируя каждым генератором в энергоблоках по отдельности, и надежно обеспечивать питание нагрузок собственных нужд. Это и определило необходимость дальнейшего развития генераторных аппаратов.

Для гидроэлектростанций (ГЭС) эффективным оказалось применение выключателей нагрузки, обеспечивающих все необходимые коммутации, кроме отключения КЗ, непосредственно в генераторной цепи

На атомных электростанциях (АЭС) необходима особенно высокая надежность электроснабжения собственных нужд реакторов, что тесно связано с надежностью работы генераторных коммутационных аппаратов.

На гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) частые коммутации агрегатов с генерирующего режима на двигательный и наоборот наиболее экономично и надежно производятся с помощью генераторных выключателей. Выключатели, устанавливаемые в цепях повышающих трансформаторов блоков АЭС и ТЭС, режим работы которых соответствует базисному графику, работают очень редко. В то же время выключатели, устанавливаемые в цепях блоков ГЭС, работающих по пиковой нагрузке, могут срабатывать дважды в сутки, что составляет порядка 600 операций в год или 15000 операций за 25 лет, что является плановым сроком службы выключателей. В связи с этим оправданным является увеличение норм механических испытаний генераторных коммутационных аппаратов с 2000–4000 до 10000 операций и более. Из этого следует, что вновь созданные генераторные коммутационные аппараты наиболее серьезную и объективную проверку на надежность проходят при эксплуатации их на ГЭС и ГАЭС.

Отечественная и зарубежная практика развития энергоблоков электростанций показывает, что генераторные аппараты в настоящее время должны охватывать весьма широкий диапазон параметров: номинальные токи 10000–50000 А, предельные токи отключения выключателей 100–350 кА, номинальные напряжения 15,75 кВ и более, ударные токи КЗ 500–1000 кА (амплитуда). В дальнейшем предполагается обеспечить и способность работы генераторных выключателей в режиме АПВ.

По мере увеличения мощности единичных энергоблоков все более сложными становятся задачи поиска рациональных компоновочных решений токопроводов между главными выводами генераторов и повышающих трансформаторов в сочетании со всеми необходимыми в этих цепях генераторными аппаратами. Осложнились вопросы взаиморазмещения отдельных видов этих аппаратов, традиционно разрабатываемых как самостоятельных объектов электроаппаратной техники, подчас и выпускаемых на разных заводах без должного учета направлений взаимного развития их конструктивных форм, как и развития конструктивных решений токопроводов. Осложнились вследствие этого и вопросы поиска рациональных решений строительных конструкций, их габаритов и стоимости. С увеличением номинальных токов все труднее стало избегать перегревов арматуры железобетона и окружающих металлоконструкций под влиянием сильного магнитного поля токопроводов и токоведущих систем (ТВС) аппаратов и соответствующей потери прочности строительных элементов зданий электростанций: балок, стен, перекрытий и т. п. В свою очередь осложнились проблемы поиска и рациональных решений ТВС генераторных аппаратов, особенно при естественном охлаждении, а соответственно и конструкций этих аппаратов в целом.

АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Целобанов В. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

Линейная арматура – устройство, выполняющее одну или несколько функций: подвешивание и прикрепление проводов, молниезащитных тросов и подвесок к опорам воздушных линий электропередачи и распределительным устройствам; соединение, натяжение, поддерживание и фиксация проводов на заданном расстоянии; гашение колебаний проводов и тросов; составление подвесок; защита гирлянд изоляторов от действия электрической дуги и снижение радиопомех; установка штыревых изоляторов и крепление на них проводов; армирование подвесных изоляторов.

Линейную арматуру, применяемую при закреплении проводов в гирляндах подвесных изоляторов, можно подразделить по назначению на пять основных видов:

– зажимы, служащие для закрепления проводов и тросов, подразделяющиеся на поддерживающие, подвешиваемые на промежуточных опорах, и натяжные, применяемые на опорах анкерного типа;

– сцепная арматура (скобы, серьги, ушки, коромысла), служащая для соединения зажимов с изоляторами, для подвески гирлянд на опорах и для соединения многоцепных гирлянд друг с другом;

– защитная арматура, монтируемая на гирляндах линий напряжением 330 кВ и выше, предназначенная для более равномерного распределения напряжения между отдельными изоляторами гирлянды и для защиты их от повреждения дугой при перекрытиях;

– соединительная арматура, служащая для соединения проводов и тросов в пролете, а также для соединения проводов в шлейфах на опорах анкерного типа;

– распорки, применяемые для соединения друг с другом проводов расщепленной фазы.

Сплавы с эффектом памяти формы прежде всего использовались в качестве однонаправленных элементов памяти, первоначально их применили для соединительных муфт. Для муфт использовался сплав Ti-Ni-Fe, температура превращения которого значительно ниже комнатной (150 °С). Внутренний диаметр муфты изготавливался примерно на 4 % меньше, чем наружный диаметр соединяемых труб. При соединении муфта прежде всего погружалась в жидкий воздух и выдерживалась при низкой температуре. В таком состоянии в муфту вводился дорн с определенной конусностью и расширился внутренний диаметр на 7–8 %.

Эффект памяти формы в сплавах, например, на основе Ni-Ti настолько четко выражен, что диапазон температур можно с большой точностью регулировать от нескольких до десятков градусов, вводя в сплав различные дополнительные легирующие элементы. Кроме того, сплавы на основе Ni-Ti, получившие принятое название во всем мире название нитинол, достаточно технологичны в обработке, устойчивы к коррозии и обладают отличными физико-механическими характеристиками: например, предел прочности нитинола колеблется в пределах 770–1100 МПа, что соответствует аналогичным характеристикам большинства сталей, а демпфирующая способность выше чем у чугуна, высокая пластичность и способность вспоминать форму до миллиона раз.

Особенностью исполнительных элементов из сплавов с памятью формы является их миниатюрность. Это обусловлено простотой механизма их действия, а также тем, что элемент состоит из одного сплава. На действие таких исполнительных механизмов не влияет среда или атмосфера, а влияет только температура. Следовательно, возможна установка этих элементов в таких средах, как вакуум или вода, при этом нет необходимости в герметизированном подвижном узле, как при установке двигателей или гидروпневматических цилиндров.

Материалы с элементами памяти форм могут применяться в простых тепловых двигателях, использующих разность температур горячей и холодной воды или горячей воды и холодного окружающего воздуха. Такие двигатели работают за счет преобразования в механическую энергию низкотемпературной бросовой тепловой энергии, например энергии горячей отходящей воды, геотермической или солнечной энергии.

УДК 621.315/316.35

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Совко А. С.

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

В данной работе произведен вывод основных расчетных соотношений для определения параметров электромагнитного поля в экранах токопроводов. Полученные формулы справедливы для всех возможных схем соединения экранов токопроводов. Решение данной задачи производилось с некоторыми допущениями:

- электромагнитное поле в экранах плоскопараллельное;
- радиусы экранов мало отличаются от среднего, а длина экранов значительно больше расстояния между ними;
- тангенциальная составляющая напряженности на внутренней поверхности экрана H_1 зависит только от тока шинпровода, а на внешней H_2 одинакова по всей окружности;
- экраны выполнены из немагнитного материала с линейными характеристиками.

При таких допущениях электромагнитное поле в экранах описывается уравнениями Максвелла и его параметры рассчитываются по известным тангенциальным составляющим напряженностей на поверхности экрана.

Для экрана токопровода электромагнитное состояние описывается системой уравнений в комплексных амплитудах:

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_m(Z)}{\partial Z} &= \delta_m(Z), \\ \delta_m(Z) &= \gamma E_m(Z), \\ \frac{\partial E_m(Z)}{\partial Z} &= \frac{\partial B_m(Z)}{\partial t}, \\ B_m(Z) &= \mu H_m(Z).\end{aligned}$$

Исходя из данной системы, после многочисленных преобразований, приходим к таким выражениям для расчёта активной и реактивной составляющей напряженности магнитного поля на внешней поверхности экрана:

$$\begin{aligned}H_{m2}^a &= \frac{B_1(H_{m1}^a, H_{m1}^p)m_1 - B_2(H_{m1}^a, H_{m1}^p)m_2}{m_1^2 + m_2^2}, \\ H_{m2}^p &= \frac{B_1(H_{m1}^a, H_{m1}^p)m_2 - B_2(H_{m1}^a, H_{m1}^p)m_1}{m_1^2 + m_2^2}.\end{aligned}$$

Эти формулы совместно с уравнениями Максвелла служат для расчета всех основных параметров электромагнитного поля экрана токопровода в стационарном режиме.

Такой расчёт параметров поля может быть рекомендован для исследования электромагнитных процессов в индукционных нагревателях, а также в металлических защищённых оболочках криогенных кабелей, выполненных по схеме экранированных токопроводов.

УДК 681.3.06

ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гавриелок Ю. В., Тукай П. А., Баран А. Г.

Короткими замыканиями (КЗ) называются замыкания между фазами (фазными проводниками электроустановки), замыкания фаз на землю (нулевой провод) в сетях с глухо- и эффективно-заземленными нейтральными, а также витковые замыкания в электрических машинах. Короткие замыкания, как правило, сопровождаются увеличением токов в поврежденных фазах до значений, превосходящих в несколько раз номинальные значения.

Развитие энергосистем ведет к стремительному росту уровней токов КЗ, что предъявляет повышенные требования в отношении электродинамической и термической стойкости элементов электротехнических устройств энергосистем, а также коммутационной способности электрических аппаратов.

С целью уменьшения воздействия токов КЗ на электрооборудование предложены и используются различные методы и средства ограничения токов КЗ. Вопросы ограничения уровня токов КЗ затрагивают вопросы обеспечения устойчивости и надежности работы энергосистем, а также их технико-экономические характеристики. Поэтому помимо применения и усовершенствования проверенных методов и средств, разрабатываются и исследуются принципиально новые средства токоограничения, позволяющие ограничить не только значение тока КЗ, но и продолжительность КЗ.

Для ограничения токов КЗ на электростанциях и в сетях энергосистем используются следующие методы:

- метод оптимизации структуры и параметров сети (схемные решения);
- стационарного или автоматического деления сети;
- использования токоограничивающих устройств;
- оптимизации режима заземления нейтралей элементов электрических сетей;
- изменения схем электрических соединений обмоток трансформаторов и автотрансформаторов.

В зависимости от местных условий, требуемой степени ограничения токов при различных видах КЗ, а также от технико-экономических показателей для ограничения токов КЗ в конкретных электроустановках или в конкретных сетях энергосистемы необходимы различные средства токоограничения или их комбинации, дающие наибольший технико-экономический эффект.

В настоящее время в отечественных энергосистемах для ограничения токов КЗ наиболее часто используются: стационарное и автоматическое деления сети, токоограничивающие реакторы и аппараты, трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, а также разземление нейтралей части силовых трансформаторов сети, их заземление через реакторы и резисторы. Другие методы и средства ограничения токов КЗ находятся в стадии исследований, опытно-конструкторской разработки и проектной проработки.

Схемные решения принимаются, как правило, на стадии проектирования схем развития энергосистем, а также при проектировании мощных электростанций и схем развития сетей повышенного напряжения. Они предусматривают изменение степени жесткости электрических связей между сетями. Схемные решения состоят в выборе оптимальных (при поставленных условиях и ограничениях) схем выдачи мощности электростанций, структуры и параметров элементов сетей энергосистем.

Схемные решения в первую очередь касаются принципиальных схем выдачи мощности электростанций. Так переход схемы выдачи мощности к блочному принципу, с последующим понижением напряжения непосредственно у нагрузки, соответствует значительному уменьшению уровня токов КЗ в сети низкого напряжения. Это обусловлено

появлением в цепи протекания токов КЗ значительного индуктивного сопротивления трансформаторов. Недостатком данного метода являются повышенные потери в нормальном режиме из-за двойной трансформации. Так изменение схемы выдачи мощности электростанций приводит к изменению темпа роста уровней токов КЗ в сетях различного напряжения энергосистем. При этом в сетях более низкого напряжения могут быть образованы регионы со стабильным наибольшим уровнем токов КЗ.

Возможность деления сети используют в процессе эксплуатации, когда требуется ограничить рост уровней токов КЗ при развитии энергосистем. Различают деление сети на стационарное и автоматическое.

Стационарное деление сети – это деление сети в нормальном режиме, осуществляемое с помощью секционных, шиносоединительных или линейных выключателей мощных присоединений электроустановок. В последнем случае деление сети связано с выведением из работы соответствующих линий электропередачи или автотрансформаторов связи, т. е. с замораживанием капиталовложений.

Стационарное деление сети производят тогда, когда наибольший уровень тока КЗ в данной сети или уровень тока КЗ в конкретном узле сети превышает допустимый с точки зрения параметров установленного оборудования. На подстанциях и электростанциях, имеющих распределительные устройства генераторного напряжения, деление сети может осуществляться как на высшем, так и на низшем напряжении. Это зависит от того, в сети какого напряжения требуется и имеется возможность снизить уровень тока КЗ.

Другой вид деления сети – автоматический. Автоматическое деление сети осуществляется в аварийном режиме с целью облегчения работы коммутационных аппаратов при отключении ими поврежденной цепи. Оно выполняется на секционных или шиносоединительных выключателях, реже – на выключателях мощных присоединений. При повреждении на присоединении распределительного устройства (на линии) вначале отключается секционный или шиносоединительный выключатель, затем линейный выключатель и осуществляется цикл автоматического повторного включения.

В качестве токоограничивающих устройств могут использоваться следующие аппараты: токоограничивающие реакторы (неуправляемые и управляемые, с линейной или с нелинейной характеристикой), трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трансформаторы с повышенным напряжением короткого замыкания, безынерционные токоограничивающие устройства различного типа (резонансные, реакторно-вентильные, со сверхпроводящими элементами), токоограничивающие коммутационные аппараты, токоограничивающие резисторы, вставки постоянного тока, вставки переменного тока не промышленной частоты, автотрансформаторы, нормально выполненные без третичной обмотки, соединенной в треугольник и др.

Наиболее распространёнными из них являются: токоограничивающие реакторы, трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трансформаторы с повышенным напряжением короткого замыкания и токоограничивающие коммутационные аппараты.

Токоограничивающие реакторы могут иметь различные устройство и конструктивное исполнение, а также технические и технико-экономические характеристики и параметры. В настоящее время в энергосистемах для ограничения токов КЗ используются только нерегулируемые реакторы с линейной характеристикой. Линейный реактор, включаемый последовательно в соответствующую линию (присоединение), ограничивает ток КЗ и поддерживает относительно высокий уровень остаточного напряжения в узлах предвключенной сети.

Оптимизации режима заземления нейтралей элементов электрических сетей и изменения схем электрических соединений обмоток трансформаторов и автотрансформаторов позволяют ограничивать уровень токов несимметричных коротких замыканий (замыканий, связанных с землей). Эти методы позволяют существенно влиять на

результатирующе сопротивление токам нулевой последовательности. Увеличение, которого позволяет снизить ток несимметричного КЗ.

УДК 681.3.06

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Гавриелок Ю. В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

В методических указаниях приведены требования и порядок расчета токов короткого замыкания в схемах переменного тока напряжением до 1 кВ собственных нужд электрических станций, подстанций и тепловых сетей с учетом влияния электрической дуги, асинхронных электродвигателей и нагрева кабелей токами КЗ.

Методические указания предназначены для персонала электрических станций, предприятий электрических сетей и проектных организаций, которые занимаются расчетом токов КЗ и уставок защитных аппаратов сети. Параллельно излагаются методика ручных инженерных расчетов и алгоритмы расчета при использовании ЭВМ.

Расчет тока КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

- для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость проводников);
- для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению начальное значение периодической составляющей тока КЗ, апериодическая составляющая тока КЗ, ударный ток КЗ и действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Для выбора параметров защитной аппаратуры сети и проверки ее селективной работы определению подлежат максимальные и минимальные значения периодической составляющей тока в месте КЗ в начальный и произвольный моменты времени вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В таких сетях возможны все виды металлических и дуговых КЗ. Вид КЗ и величина переходного сопротивления в месте КЗ определяются многими факторами возникновения и существования повреждения изоляции электроустановки и являются случайными величинами. При этом в процессе развития повреждения один вид замыкания может переходить в другой: двухфазное в трехфазное или однофазное на землю в двухфазное на землю. Вероятность существования чистого металлического КЗ невысока, а ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ.

Исходя из сказанного, ток металлического КЗ используется для проверки электрооборудования на отключающую способность и на электродинамическую и термическую стойкость. Для проверки селективности защитной аппаратуры необходимо использовать токи дуговых замыканий в конце зоны действия защитных аппаратов с учетом наличия дуги в месте КЗ и с учетом термического эффекта тока КЗ.

В соответствии с ГОСТ 28249-93 при расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- индуктивные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления контактов и контактных соединений;
- наличие подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей.

При расчетах тока КЗ в соответствии с ГОСТ 28249-93 рекомендуется учитывать:

- сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- изменение активного сопротивления проводников электрической цепи вследствие их нагрева при КЗ;

При расчетах токов КЗ допускается:

– максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;

– не учитывать ток намагничивания трансформаторов;

– не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;

– принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

– не учитывать влияния АД (асинхронных двигателей), если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД.

При разработке методик расчетов токов КЗ в сети до 1 кВ на ЭВМ выдвигаются требования:

– учет активных сопротивлений элементов схемы замещения;

– учет дуги в месте повреждения для расчета минимальных значений токов короткого замыкания;

– учет подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей (АД);

– учет термического эффекта тока КЗ.

Эти требования учтены при составлении программы TKZdo1kV. На основе данной программы и будет производиться дальнейший анализ расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ.

Из допущений и требований к расчету как раз и вытекают особенности расчета. В качестве пояснения этого утверждения можно сказать, что учет активной составляющей приводит к необходимости расчета токов КЗ в комплексных величинах. Возникает необходимость учета сопротивления контактов и соединений, в отличие от сетей более высокого уровня напряжения. Это объяснимо тем, что в сетях высокого напряжения их сопротивление незначительно по отношению к суммарному, в отличие от рассматриваемой сети. При протекании тока по токоведущим частям они нагреваются, и их сопротивление изменяется, что необходимо учитывать. Далее в работе будет уделяться большее внимание самой методике расчета.

УДК 681.3.06

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Тукай П. А., Баран А. Г.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

Токоограничивающий реактор – электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания. Включается последовательно в схему и работает как индуктивное дополнительное сопротивление при коротком замыкании, уменьшающее ударный ток. В нормальном режиме на реакторе наблюдается падение напряжения порядка 3 %, что вполне допустимо. В режиме короткого замыкания на реактор приходится большая часть напряжения.

Основными наиболее распространенными типами реакторов долгое время являлись бетонные, масляные и броневые реакторы.

Бетонные реакторы получили распространение для внутренней установки и при напряжениях сетей до 35 кВ. Бетонный реактор представляет собой концентрически расположенные витки изолированного многожильного провода, залитого в радиально расположенные бетонные колонки. При коротких замыканиях обмотки и детали реактора испытывают значительные механические нагрузки, обусловленные электродинамическими силами. Поэтому, при их изготовлении применяется бетон с высокой прочностью. Все металлические детали реактора изготавливаются из неферромагнитных металлов. Фазные катушки реактора располагают так, что при собранном реакторе поля катушек расположены встречно, что необходимо для преодоления продольных динамических усилий при коротком замыкании. Бетонные реакторы могут выполняться как естественно-воздушного, так и воздушно-принудительного охлаждения.

Масляные реакторы применяются в сетях выше 35 кВ. Данный реактор состоит из обмоток медных проводников, изолированных кабельной бумагой, которые укладываются на изоляционные цилиндры и заливаются трансформаторным маслом или иным электротехническим жидким диэлектриком. Жидкость служит одновременно и изолирующей и охлаждающей средой. Для снижения нагрева стенок бака от токов Фуко, порождаемых переменным магнитным полем обмоток реактора применяют электромагнитные экраны или магнитные шунты. Также используются магнитные шунты – пакеты листовой электротехнической стали, расположенные внутри бака реактора около стенок, и являются искусственным магнитопроводом с магнитным сопротивлением, меньшим сопротивлением стенок бака, что замыкает основной магнитный поток обмотки реактора, а не через ферромагнитные стенки бака.

Не смотря на тенденцию изготавливать токоограничивающие реакторы без ферромагнитного магнитопровода, вследствие опасности насыщения магнитной системы при токе КЗ и как следствие резким падением токоограничивающих свойств, некоторые электротехнические предприятия выпускают реакторы с сердечниками броневой конструкции из электротехнической стали. Преимуществом данного типа токоограничивающих реакторов является меньшие массо-габаритные показатели и стоимость, за счёт уменьшения в конструкции доли цветных металлов. Недостаток является возможность потери токоограничивающих свойств при ударных токах, больших номинального для данного реактора, что в свою очередь требует тщательного расчёта токов короткого замыкания в сети и выбора броневых реактора таким образом, чтобы в любом режиме сети ударный ток короткого замыкания не превышал номинального.

Наиболее современным и инновационным в данной сфере является производство сухих реакторов (РТСТ). Они пришли на смену другим конструкциям, благодаря своим значительным преимуществам перед конструкциями другого типа. Основным преимуществом сухих токоограничивающих реакторов является их массо-габаритные

показатели, срок службы и электродинамическая стойкость. Разные производители сухих реакторов предлагают различные конструктивные решения основных составляющих элементов токоограничивающего реактора, таких как:

- обмотки;
- прессующая система;
- изоляторы;
- вводные и выводные шины;
- крепление реактора к фундаменту.

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».

Наиболее прогрессивной и технологичной считается конструкция реакторов из ленты. Лидером в производстве данных реакторов в России является группа компаний «Трансформер», которая имеет свои представительства по всем регионам СНГ.

Основными потребителями токоограничивающих реакторов являются генерирующие станции, распределительные подстанции, электрические сети, крупные промышленные предприятия, энергоёмкие объекты инфраструктуры. Многие из этих предприятий приобретают сухие реакторы для замены бетонных аналогов, морально устаревших и уже не соответствующих современным требованиям.

Обмотки таких реакторов изготавливаются из алюминиевой ленты. Обмотки надежно скрепляются с помощью конструкций, выполненных из немагнитного материала.

Изоляция реактора состоит из изоляции проводника, межслоевой изоляции и пропиточного лака. Пропитка лаком осуществляется методом вакуум-давления, являющимся самым эффективным и позволяющим в максимальной степени использовать полезные свойства лака. Плотная намотка ленточного проводника в сочетании с пропиткой лаком вакуум-давлением делает конструкцию очень жесткой и устойчивой к механическим и электродинамическим нагрузкам при аварийных режимах.

Одним из преимуществ РТСТ «Трансформер», как и всех сухих реакторов в целом, является высокая динамическая стойкость. Что стало возможным благодаря применению современных изоляционных материалов и технологических особенностей производства.

Другим преимуществом является повышенная энергоэффективность. Разработанная компанией «Трансформер» уникальная математическая модель процессов, протекающих в ленточной обмотке, позволила в значительной степени снизить дополнительные потери за счет оптимизации сечения ленты и геометрии обмоток. Ленточная технология в совокупности с применением данной модели обеспечивают высокую энергоэффективность оборудования.

Токоограничивающие реакторы РТСТ являются более компактными в сравнении с громоздким бетонным аналогом. Сухие реакторы позволяют эффективно заменить бетонные реакторы в существующей камере с увеличением числа подключений.

РТСТ «Трансформер» выдерживают значительные электродинамические нагрузки при аварийных режимах, благодаря своим конструктивным особенностям, которая заключается в плотной намотке ленточного проводника. В сочетании с пропиткой лаком вакуум-давлением эта конструкция является очень жесткой. В совокупности с инновационным проектированием это позволяет возникающие в аварийном режиме в обмотке электродинамические усилия распределять по всей высоте ленты, а не сосредотачивать в отдельных проводниках. Каждая обмотка надежно скрепляется с двух сторон с помощью крестовин, выполненных из немагнитного материала.

В настоящее время реакторы из ленты изготавливает фирма *Nokian* (Финляндия), *Trench* (Австрия), *Coilinnovation* (Австрия), *Areva* (Франция), *Hilkar* (Турция), *F.d.u.e.G.* (Италия).

Основной недостаток реакторов из ленты состоит в наличии мощного эффекта вытеснения тока, что предъявляет повышенные требования как к методикам их расчета, так и к технологии производства. Поэтому остается актуальным производство сухих реакторов с проводниками в виде кабелей или многожильного провода, что создает конкурентную среду в этой области, способствующую дальнейшему развитию существующих и появлению новых конструкций и технологий производства реакторов.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С РАСЩЕПЛЕННОЙ ФАЗОЙ

Тукай П.А.

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

Задачей проектирования компактных воздушных линий (ВЛ) с уменьшенными междуфазными расстояниями является предотвращение сближения проводов фаз при воздействии на них электродинамических усилий от токов короткого замыкания (КЗ). Для стабилизации воздушных промежутков ВЛ со сближенными расщепленными фазами разработаны междуфазные распорки на основе стеклопластиковых стержней.

Особенностью динамики токоведущих конструкций с гибкими проводами при КЗ является сближение и даже схлестывание соседних фаз. Второй неблагоприятный фактор электродинамического действия тока КЗ проявляется в виде динамических нагрузок в проводах, гирляндах и других элементах ВЛ, в два и более раз превышающих тяжения нормального режима. В общем случае электродинамическая стойкость расщепленной фазы ВЛ характеризуется тремя сдвинутыми во времени максимумами тяжения проводов. Стягивание проводов фазы при КЗ на большей части пролета обуславливает значительные силы сжатия, действующие на дистанционные распорки.

Проведенные в исследования показали, что междуфазные распорки препятствуют также образованию отложений гололеда на поверхности проводов и возникновению их пляски. Сохранение безопасных междуфазных расстояний достигается установкой распорок в критических точках длины пролета, которыми могут являться точки наибольшего провеса проводов или $1/4$, $1/3$, $2/3$, $3/4$ части длины пролета. В общем случае места установки изолирующих распорок зависят от длины пролета, схемы подвески и сечения проводов, междуфазных расстояний, величины тока КЗ, рельефа местности и климатических условий. Одним из основных параметров, определяющих работоспособность междуфазных изолирующих распорок на ВЛ, является их механическая прочность на продольное сжатие. Получение необходимой прочности на продольное сжатие распорок является сложной задачей. В эта задача решена использованием специальной конструкции распорки с поясами жесткости

В энергосистеме широко применяются токоведущие части с гибкими проводниками, которые в пролётах увеличенной длины имеют ряд преимуществ по сравнению с жёсткими проводниками. Для различных классов напряжения используются воздушные пролёты с расщепленными проводами. Они применяются для увеличения пропускной способности линий при использовании стандартных марок проводов и для уменьшения и исключения коронирования при напряжении 330 кВ и выше. Различают гибкие открытые токопроводы напряжением 6–10 кВ систем электроснабжения крупных промышленных предприятий с небольшой кратностью расщепления, а также генераторные токопроводы с большой кратностью расщепления.

Для предотвращения схлестывания они оснащаются как внутрифазными, так и междуфазными распорками. Наблюдается тенденция применения компактных воздушных линий с уменьшенными междуфазными расстояниями напряжением 110–220 кВ, надежность работы которых обеспечивается применением междуфазных распорок типа РМИ.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Хлиманков А. В.

Научный руководитель – Кисляков А. Ю.

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.

Двигатель внутреннего сгорания – это тип двигателя, тепловая машина, в которой химическая энергия топлива, сгорающего в рабочей зоне, преобразуется в механическую работу.

Газотурбинная установка – это агрегат, состоящий из газотурбинного двигателя, редуктора, генератора и вспомогательных систем.

Технологическая себестоимость – затратами на сырье и материалы, комплектующие, возвратные отходы, заработную плату рабочим, налоги и отчисления от заработной платы, а также расходы на оборудование.

Цеховая себестоимость – затратами всех цехов и других производственных структур, которые непосредственно участвовали в процессе изготовления определенного набора товаров и услуг.

Производственная себестоимость – прибавления к цеховой себестоимости общезаводских и целевых расходов.

Полная себестоимость – затраты организации не только на выпуск продукции и организацию производственного процесса, но и на ее реализацию, то есть поставку на рынок конечных товаров и услуг.

Топливо – вещество способное выделять энергию в ходе определённых процессов, которую можно использовать для технических целей.

Генератор – устройство, производящее какие-либо продукты, вырабатывающие электроэнергию или преобразующее один вид энергии в другой.

К основным преимуществам когенерационных установок относятся:

- увеличение эффективности использования топлива благодаря более высокому коэффициенту полезного действия;
- снижение вредных выбросов в атмосферу по сравнению с отдельным производством тепла и электроэнергии;
- уменьшение затрат на передачу электроэнергии, так как когенерационные установки размещаются в местах потребления тепловой и электрической энергии, потери в сетях практически отсутствуют;
- возможность работы на биотопливе и на других альтернативных видах топлива;
- бесшумность и экологичность оборудования;
- обеспечение собственных потребностей котельной в электроэнергии.

Со временем выявились несомненные преимущества камер сгорания первого типа. Поэтому в современных газотурбинных установках топливо в большинстве случаев сжигают при постоянном давлении в камере сгорания.

Первые газотурбинные установки имели низкий коэффициент полезного действия, так как газовые турбины и компрессоры были несовершенны. По мере совершенствования этих агрегатов увеличивался коэффициент полезного действия газотурбинных установок и они становились конкурентоспособными по отношению к другим видам тепловых двигателей.

В настоящее время газотурбинные установки являются основным видом двигателей, используемых в авиации, что обусловлено простотой их конструкции, способностью быстро набирать нагрузку, большой мощностью при малой массе, возможностью полной автоматизации управления. Самолет с газотурбинным двигателем впервые совершил полет в 1941 году.

В энергетике газотурбинные установки работают в основном в то время, когда резко увеличивается потребление электроэнергии, то есть во время пиков нагрузки. Хотя

коэффициент полезного действия газотурбинных установок ниже коэффициента полезного действия паротурбинных установок использование их в пиковом режиме оказывается выгодным, так как пуск занимает гораздо меньше времени.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Витязев А. С.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

Математическая модель электрической машины – это система уравнений, описывающих процессы электромеханического преобразования энергии с допущениями, обеспечивающими необходимую точность решения для рассматриваемой задачи.

Основные допущения при составлении математической модели синхронного генератора:

- не учитывается магнитное насыщение генератора;
- в воздушном зазоре машины действуют намагничивающие силы только первой гармоники;
- не учитываются потери на перемагничивание;
- считаем, что обмотки статора выполнены симметрично, а ротор генератора симметричен относительно осей d и q;
- все демпферные обмотки по оси d заменены одной демпферной обмоткой аналогичной по оси q;
- при исследовании электромагнитных переходных процессов не учитывают изменение вращения скорости генератора.

Система дифференциальных уравнений ненасыщенного синхронного генератора с учетом успокаивающего контура в физической системе координат имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_j}{dt} &= -u_j - R_j i_j, \\
 \frac{d\Psi_f}{dt} &= u_f - R_f i_f, \\
 \frac{d\Psi_{\varepsilon d}}{dt} &= -R_{\varepsilon d} i_{\varepsilon d}, \\
 \frac{d\Psi_{\varepsilon q}}{dt} &= -R_{\varepsilon q} i_{\varepsilon q}, \\
 J \frac{d^2\gamma}{dt^2} &= M_{\tau} - M_{\text{эм}}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Все переменные величины в системе (1) выражены в именных единицах измерения.

Первые шесть уравнений системы являются дифференциальными уравнениями второго закона Кирхгофа для электрических контуров машины. Седьмое уравнение является дифференциальным уравнением, отражает вращательное движение ротора генератора в переходном режиме. Положительные направления токов в обмотках статора и в системе (1) выбраны от генератора к нагрузке, а в обмотке возбуждения – от источников питания к обмотке.

Математические модели электрических машин широко используются для исследования электромеханических систем благодаря применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. В настоящее время созданы модели, позволяющие исследовать практически любые задачи, встречающиеся в электромашиностроении.

В режиме короткого замыкания генераторов сопротивление нагрузки равно нулю. В режиме короткого замыкания двигателей равна нулю частота вращения. Режим короткого замыкания характерен для начального момента пуска двигателя из неподвижного состояния. При включении обмотки статора на номинальное напряжение ток двигателя достигает больших значений, поэтому длительный режим короткого замыкания опасен для машин, не рассчитанных на работу при таких условиях. Короткое замыкание двигателей и генераторов,

проводимое при пониженном напряжении, используется при испытаниях электрических машин для опытного определения ряда их параметров.

ЛИТЫЕ ТОКОПРОВОДЫ

Лапко Д. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Системы литых токопроводов соответствуют всем требованиям для устройств распределения тока в установках низкого и среднего напряжения.

Благодаря особенностям конструкции, литые токопроводы имеют преимущества перед другими способами распределения и передачи электроэнергии. К ним можно отнести компактные размеры, простой монтаж, высокую пожаробезопасность, малое электрическое сопротивление, устойчивость к короткому замыканию, отличную химическую устойчивость и др.

Пофазноизолированный токопровод с литой изоляцией типа ТПЛ (SIS) предназначен для выполнения электрических соединений энергетического оборудования на электрических станциях и подстанциях и устанавливается в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц напряжением до 35 кВ, номинальным током до 12 000 А и в цепях постоянного тока напряжением до 1,2 кВ, номинальным током до 6300 А. Токопровод состоит из секций различной конфигурации (прямых, с изгибами) длиной не более 10 метров, соединительных муфт, шин и компенсаторов для соединения с выводами генераторов, трансформаторов и шкафов комплектных распределительных устройств.

Малогабаритный литой токопровод типа ТКЛ предназначен для выполнения электрических соединений в цепях переменного тока напряжением от 0,4 до 24 кВ, номинальным током до 14 500 А и частотой 50–60 Гц, а также в цепях постоянного тока напряжением до 33 кВ, номинальным током до 18 000 А. ТКЛ предназначен для эксплуатации при температурах окружающей среды от -60° до $+55^{\circ}$ С.

Токопроводы открытые типа ТПО (номинальным напряжением до 35кВ, номинальным током до 6300 А) предназначены для выполнения электрических соединений высоковольтного оборудования в открытых и закрытых распределительных устройствах электрических станций и подстанций в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Шинопровод с литой изоляцией типа POWERDUCT предназначен для выполнения электрических соединений в цепях переменного тока напряжением до 1 кВ, номинальным током до 6300 А, частотой 50–60 Гц, а также в цепях постоянного тока. В шинопроводе типа POWERDUCT реализована гибридная изоляция токоведущих шин. Все проводники покрыты специальным компаундом (Hybrid Powder) на основе эпоксидной смолы, а также изолированы майларовой пленкой. Шинопровод предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от -40° С до $+50^{\circ}$ С. Назначенный срок службы не менее 30 лет.

Токопроводы закрытые напряжением 6 и 10 кВ на номинальные токи до 4000 А применяются на электростанциях для электрического соединения трансформаторов со шкафами комплектных распределительных устройств, а также турбогенераторов с повышающими трансформаторами, устанавливаемых в цепях 3-фазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Шинопроводы закрытые ШЗК-РТК-0,4 переменного тока напряжением до 1 кВ на номинальный ток до 2500 А частотой 50 и 60 Гц с общей для трех фаз оболочкой предназначены для выполнения электрического соединения трансформаторов собственных нужд мощностью до 1000 кВА с панелями ПСН или шкафами КТПСН-0,5 на электрических станциях.

Шинопроводы закрытые ШЗК-РТК-1,2 постоянного тока напряжением до 1,2 кВ на номинальные токи до 6300 А предназначены для выполнения электрического соединения возбuditелей с панелями щитов рабочего и резервного возбуждения генераторов мощностью до 1200 МВт на электрических станциях.

Шинные мосты используются при соединении камер сборных одностороннего обслуживания (КСО). Камеры предназначены для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6–10 кВ. Шинные мосты представляют собой сварную или сборную металлоконструкцию, состоящую из кожуха с установленными внутри на опорных изоляторах медными или алюминиевыми токоведущими шинами.

Токопроводы комплектные пофазно-экранированные генераторного напряжения 6, 10, 20, 24, 35 кВ с компенсированным электромагнитным полем типа ТЭНЕ предназначены для электрических соединений на электрических станциях, в цепях 3-фазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц турбогенераторов мощностью до 1500 МВт с силовыми повышающими трансформаторами, трансформаторами собственных нужд, преобразовательными трансформаторами и трансформаторами тиристорного возбуждения генераторов. Токопроводы изготавливаются закрытыми в пофазном исполнении. Это исключает возможность междуфазных коротких замыканий от попадания на шины посторонних предметов и предотвращает доступ персонала к токоведущим частям токопровода.

Шинные компенсаторы типа FS имеют пластинчатую структуру. Изготавливаются методом диффузионной сварки под давлением из пакетов медной ленты толщиной до 0,2 мм или из пакетов алюминиевой ленты толщиной до 0,3 мм. Сварка алюминиевых пакетов выполняется в среде защитного газа для предотвращения окисления соединительных участков и обеспечения минимального электрического сопротивления в местах сварных соединений.

Шинные компенсаторы типа HFB имеют плетеную структуру. Отличаются повышенной, исключительной гибкостью во всех направлениях и незаменимы, когда требуется изгиб шины в нескольких плоскостях либо защита от передачи вибраций. Изготавливаются из медной проволоки толщиной 0,15 мм.

УДК 621.315/316.351

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ 330 КВ

Богатко А.С.

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

Гибкая ошиновка вместе с порталами образует расположенные рядами пролеты ячеек. В схемах со сборными шинами перпендикулярно пролетам ячеек располагаются шинные пролеты, ошиновка которых проходит ярусом ниже. Электрическая связь между соседними пролетами выполняется с помощью шлейфов. Соединение гибких шин и электрических аппаратов РУ выполняется посредством отпайек. Отпайки крепятся к шинам с помощью ответвительных зажимов практически без натяжения. В пролетах типовых ОРУ имеется не более трех спусков к электрическим аппаратам. Гибкая ошиновка РУ является неоднородной по составу многоэлементной механической системой, которая под действием электродинамических усилий при КЗ совершает сложное колебательное движение. При больших токах КЗ оно сопровождается недопустимым сближением проводов соседних фаз и значительными динамическими усилиями на опорные конструкции и электрические аппараты.

В результате электродинамического действия больших токов КЗ происходит сближение и даже схлестывание гибких проводов, сопровождаемые ударными нагрузками на элементы и опорные конструкции электроустановок энергосистем. При схлестывании большие токи КЗ ведут к перегосу проводов, что может явиться причиной их обрыва. Более вероятное первичное КЗ на воздушных ЛЭП, устраняемое, как правило, во время бестоковой паузы АПВ, сопровождается вторичным КЗ на гибких шинах РУ высокого напряжения, вызванным их недопустимым сближением при колебаниях, обусловленных ЭДУ от токов первичного КЗ. Следующее за этим отключение системы шин РУ высокого напряжения дифференциальной защитой ведет к тяжелым последствиям для энергосистемы в целом. Собственные частоты колебаний проводов реальных пролетов РУ не превышают нескольких Герц, поэтому основное влияние на характер их вынужденного движения при КЗ оказывают низкочастотные составляющие ЭДУ. В связи с этим при трехфазном КЗ под действием ЭДУ крайние фазы движутся от средней фазы наружу. Горизонтальное перемещение средней фазы весьма ограничено. Направление ее движения определяется фазой включения тока КЗ. Наибольшие отклонения характерны для крайних фаз, в составе ЭДУ которых содержатся значительные постоянные составляющие. При двухфазном КЗ между крайней и средней фазами они отклоняются в противоположные стороны. Наибольшие отклонения крайних фаз при двух- и трехфазном КЗ близки. В случае неуспешного АПВ в траектории движения провода появляется второй участок вынужденного движения.

Указанным разновидностям движения проводов при КЗ соответствуют характерные максимумы тяжения. Выделяются три сдвинутых во времени максимума тяжений в проводах при КЗ. Первый максимум возникает только в расщепленных проводах и обусловлен сильным внутрифазным взаимодействием. Он наступает уже через несколько периодов тока промышленной частоты и характеризуется большой величиной. Существенное влияние на величину этого максимума оказывают ударные явления при схлестывании проводов фазы.

Динамика токоведущих конструкций с проводами представляет собой движение упругой многопролетной и многокомпонентной механической системы под воздействием ЭДУ. Изменение взаимного положения проводов влияет на величину и закон распределения по ним ЭДУ. Движение проводов описывается на основе законов и теорем механики. ЭДУ определяются по законам электротехники. При выборе расчетной модели вводятся допущения, идеализирующие провод. Ему придаются свойства и качества, облегчающие решение задачи динамики.

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Карпович В. П.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А. К.

Программируемый логический контроллер (сокращенно, ПЛК) – электронный компонент, применяемый в современных системах автоматизации. Программируемые логические контроллеры используются главным образом при автоматизации промышленных и производственных процессов. ПЛК различных типов также применяются для организации автоматизированного управления системами вентиляции и кондиционирования, для поддержания заданного температурного режима в помещении и т. д. Применение логических контроллеров позволяет создать практически полностью автономную систему управления, осуществляющую свою деятельность с учетом свойств, характеристик и состояния контролируемого объекта. Участие оператора сводится к общему наблюдению за процессом управления и, при необходимости – изменению заданной программы работы.

Один из самых важных параметров ПЛК – быстродействие в каталогах фирм указывается в совершенно разных вариантах. Могут фигурировать время выполнения бинарных команд, время опроса 1К дискретных входов, время выполнения смешанных команд и т. д.

Контроллеры ПЛК относятся к категории устройств реального времени и обладают целым рядом существенных отличий от оборудования со сходными назначением и архитектурой. В частности, главным отличием программируемых логических контроллеров от обычных компьютеров является развитая система обработки входящих и исходящих сигналов исполнительных механизмов и различных датчиков; главным отличием от встраиваемых систем управления – схема монтажа, отдельного от объекта управления.

Для программирования ПЛК контроллеров был разработан ряд стандартизированных языков, описанных в международном стандарте МЭК 61131.

Современная логика системы управления установлена в ПЛК посредством компьютерной программы. Эта программа определяет, какие выходы находятся под напряжением и при каких входных условиях. Хотя сама программа напоминает схему логики реле, в ней не существует никаких контактов переключателя или катушек реле, действующих внутри ПЛК для создания связей между входом и выходом. Эти контакты и катушки мнимые. Программа пишется и просматривается с помощью персонального компьютера, подключенного к порту программирования ПЛК.

Одним из преимуществ реализации логического контроля в программном обеспечении, в отличие от контроля с помощью оборудования, является то, что входные сигналы могут быть использованы трех переключателей такое количество раз, какое потребуется.

Учитывая специфику устройств, критерии оценки можно разделить на три группы:

- технические характеристики;
- эксплуатационные характеристики;
- потребительские свойства.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Черная Е.О., Будников В.В.

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

Преимуществами световодной ОЭ-связи являются: высокая степень уплотнения световодов, обеспечивающая огромный объем передаваемой информации, экономия цветных металлов, высокая помехозащищенность, устойчивость к внешним воздействиям и ряд других преимуществ, приводящих в конечном счете к высокой технико-экономической эффективности. Все это создает основания для принципиально качественных изменений в построении различных систем передачи информации и расширяет ее возможности.

Волоконно-оптическая связь, использующая в качестве носителя информации свет, представляющий собой электромагнитные колебания, обладает замечательными характеристиками передачи. Ее специфическими особенностями являются:

- малый диаметр и масса волоконных световодов, большой объем передаваемой информации, быстрое действие;
- низкие потери передачи;
- надежность в статических режимах работы;
- высокая точность измерений в переходных режимах работы;
- помехозащищенность по отношению к шумам, наведенным внешними электромагнитными полями; возможность многих способов модуляции;
- отсутствие необходимости в заземлении; малый допустимый радиус изгиба;
- устойчивость к повреждениям; богатые природные ресурсы исходного материала.

Физическую основу ОЭ-методов измерения составляют процессы преобразования измеряемого (входного) электрического сигнала в световой и светового сигнала в выходной электрический сигнал.

Оптическое волокно сохраняет плоскость поляризации при двойном лучепреломлении. Двойное лучепреломление – это такое свойство материала, которое обусловлено зависимостью скорости света от поляризации. Когда плоскополяризованный пучок распространяется по двухлучепреломляющему волокну, он приобретает эллиптическую поляризацию и перемещается вдоль волокон по спиральной траектории, снижая чувствительность детектора к вращению.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые при создании ОЭТТ с внутренней амплитудной модуляцией, следует отметить, что построение таких аппаратов высокого класса точности встречает трудности:

- сложность обеспечения стабильности результирующего коэффициента преобразования при действии возмущающих факторов;
- сложность передачи аналоговой информации от приемных устройств аппарата, размещенных обычно в самом аппарате, к усилительным устройствам и другим преобразователям, расположенным обычно в здании, станции; сложность защиты каналов связи между приемным и усилительным устройствами от помех и др.

УДК 624.97

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Денисевич Т.А.

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

Рост мирового энергопотребления и неизбежное сокращение природных запасов углеводородного топлива существенно подняли интерес к использованию возобновляемых источников энергии. Одной из бурно развивающейся отраслью энергетики является ветроэнергетика, которая специализируется на использовании кинетической энергии воздушных масс и преобразует ее в различные формы энергии: электрическую, механическую, тепловую.

Общий интерес в настоящее время представляет использование энергии ветра для обеспечения электрической и тепловой энергией частных домов и коттеджей. Эту задачу могут выполнять ветряные электростанции для индивидуального пользования [1].

Небольшие ветряные электростанции удобны тем, что для их установки не требуется особого места, достаточно просто монтируются, имеют небольшой срок окупаемости и стабильно вырабатывают электрическую энергию [2].

В настоящее время максимальный коэффициент использования ветра имеют ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения (такая конструкция используется почти в 99% всех действующих промышленных ветровых электростанциях). Предварительные расчеты показывают, что для изготовления ветрогенератора в домашних условиях наиболее оптимальной конструкцией является шестилопастный ветрогенератор с диаметром винта 2 м. При максимальной рабочей скорости ветра 7-8 м/с максимальная мощность выбранной конструкции ветроэлектростанции будет равна 240 Вт. Это соответствует частоте вращения ветроколеса 229 об/мин. При более сильном ветре работа ветрогенератора будет небезопасной и должна ограничиваться.

Наиболее важной частью ветрогенератора является сам генератор, который и определяет эффективность работы всей установки. Промышленностью выпускается большое количество генераторов переменного и постоянного тока. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее удачным по комплексу характеристик для домашней ветроустановки является генератор на постоянных магнитах. Достоинствами этого генератора являются высокая надежность и достаточная мощность, а из недостатков можно назвать только то, что его придется изготавливать самому.

Для изготовления генератора необходимо использовать самые мощные магниты, которые выпускает промышленность. Такими магнитами являются неодимовые (мощность 480 кДж/м³). Изготавливать генератор следует по трехфазной схеме. Это исключит вибрации, а показатель мощности ветряка будет иметь постоянное значение. Ветрогенератор, имеющий трехфазную систему, может быть более эффективным, чем однофазный.

В настоящее время считается, что применение ветрогенераторов в быту для обеспечения электричеством нецелесообразно из-за необходимости получения электроэнергии промышленного качества: напряжением 220 В и частотой 50 Гц. При использовании генератора постоянного тока требуется использование инвертора. Для обеспечения бесперебойной работы потребителей требуется использование аккумуляторов и дизельгенераторов. Все это приводит к значительному удорожанию получаемой энергии.

Поэтому, учитывая сказанное выше, экономически целесообразно получение с помощью ветрогенераторов не электрической энергии промышленного качества, а постоянного или переменного тока с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды.

Литература

1. <http://www.ekopower.ru/chto-nuzhno-znat-o-ventoenergetike/>
2. <http://vopros-remont.ru/elektrika/samodelnyj-vetryak/>

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ НЬЮТОНА ВТОРОГО ПОРЯДКА

ТАРАКАНОВА А.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – М.Т.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ВОЛКОВ А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КВАДРАТНЫХ КОРНЕЙ ДЛЯ РАСЧЁТА РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО УРАВНЕНИЯМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗАДАНИИ НАГРУЗОК В ТОКАХ

КУШНЕР Д.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – М.Т.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ВОЛКОВ А.А.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

КОХАН О.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР ФУРСАНОВ М.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОРАЙОНА

КАРПЕЧЕНКО А.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ СЕКАЦКИЙ Д.А.

МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

ДАШКОВСКИЙ А.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МЫШКОВЕЦ Е.В.

МОДЕЛИ ЛЭП И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

ВЛАСОВ А. А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МЫШКОВЕЦ Е.В.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ 730 МВт

БОЛЗАН В.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - К.Т.Н., ДОЦЕНТ СТАРЖИНСКИЙ А.Л.

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

ВЕРАКСА Р.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ НОВИКОВ С.О.

СОВРЕМЕННЫЕ СВЕТОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ

ДРОЗДРВСКАЯ Е.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ- К.Т.Н., ДОЦЕНТ НОВИКОВ С.О.

РАСЧЁТ РЕЖИМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗЛОВЫХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Белько А.И.

Научный руководитель - старший преподаватель Мышковец Е.В.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

Дерюга В.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В МИНИМАЛЬНЫЕ ЧАСЫ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Бондарева А.С.

Научный руководитель – ассистент Юршо Е.Л.

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ НА ПРИМЕРЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В БЕЛАРУСИ

Рыжков Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новиков С.О.

ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Чумаченко М.А.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Новиков С.О.

ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Станевич Р.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Калентионюк Е.В.

СПОСОБЫ ПОИСКА МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ 10КВ

Спода А. Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е. В.

ВОПРОСЫ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10(6)/0,4 КВ

Суськова В.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК

Позняк Б. А.

Научный руководитель – ассистент Юршо Е. Л.

РАСЧЕТ РЕЖИМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗЛОВЫХ УРАВНЕНИЙ

Сазонов П.А., Ёч Э.И.

Научный руководитель- старший преподаватель Мышковец Е.В.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТЭЦ

Шубенок Д. И.

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

НАВЕДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ

Савицкий Н.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СООРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОПОРАХ ИЗ МНОГОГРАННЫХ ГНУТЫХ СТОЕК

Шлепикова А.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ Г.МИНСКА.

Мосевич С.О.

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

УЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Печко А.С.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Прокопенко В.Г.

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ОАО «ГРОДНО АЗОТ»

Атрашков Д.Г.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Гапанюк С.Г.

ОБЗОР ЭЛЕКТРОСЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО “ГРОДНО АЗОТ”

Сытько А.В.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Гапанюк С.Г.

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ СХОДИМОСТИ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Янушкевич К.С.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЬЮТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Морозов А.Г.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ ИНЕРЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ НА ПРЕДЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Михолап Е.Н.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

СОБСТВЕННЫЕ ЧИСЛА И ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ МАТРИЦЫ УЗЛОВЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ

Крапивина Т.С.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

**УЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УЗЛАХ ПРИ РАСЧЕТЕ РЕЖИМА
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

МАЦКЕВИЧ М. О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – М.Т.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ВОЛКОВ А.А.

УДК 621.311

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ НЬЮТОНА ВТОРОГО ПОРЯДКА

Тараканова А.И.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Для расчета режима электрической сети необходимо составить и решить систему уравнений. Метод Ньютона является наиболее распространённым методом решения системы нелинейных уравнений узловых напряжений. Основным преимуществом является его быстрота и надёжность процесса сходимости. Основным недостатком является то, что он требует большого объёма вычислений и промежуточной информации на каждом итерационном шаге.

Метод Ньютона сводится к последовательному решению систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), полученных путём линеаризации системы нелинейных уравнений [1].

Для k -го приближения вектора неизвестных $x^{(k)} = (x_1^{(k)} \ x_2^{(k)} \ \dots \ x_n^{(k)})^T$ будем искать $(k+1)$ -е приближение в виде

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)},$$

где вектор приращения $\Delta x^{(k)} = (\Delta x_1^{(k)} \ \Delta x_2^{(k)} \ \dots \ \Delta x_n^{(k)})^T$ подлежит определению.

Для нахождения этих приращений разложим функцию $F_1(x^{(k+1)})$ в ряд Тейлора в окрестностях точки $x^{(k)}$ до производных первого порядка включительно и приравняем это разложение нулю: $F_1(x^{(k+1)}) = 0$, получим:

$$F_1(x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \dots, x_n^{(k+1)}) = F_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) + \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_1} \Delta x_1^{(k)} + \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_2} \Delta x_2^{(k)} + \dots + \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_n} \Delta x_n^{(k)} \approx 0.$$

Осуществляя те же процедуры для остальных уравнений системы, получим следующую СЛАУ относительно вектора неизвестных $\Delta x^{(k)} = (\Delta x_1^{(k)} \ \Delta x_2^{(k)} \ \dots \ \Delta x_n^{(k)})^T$ [2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_1} \Delta x_1^{(k)} + \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_2} \Delta x_2^{(k)} + \dots + \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_n} \Delta x_n^{(k)} = -F_1(x^{(k)}), \\ \frac{\partial F_2(x^{(k)})}{\partial x_1} \Delta x_1^{(k)} + \frac{\partial F_2(x^{(k)})}{\partial x_2} \Delta x_2^{(k)} + \dots + \frac{\partial F_2(x^{(k)})}{\partial x_n} \Delta x_n^{(k)} = -F_2(x^{(k)}), \\ \dots \\ \frac{\partial F_n(x^{(k)})}{\partial x_1} \Delta x_1^{(k)} + \frac{\partial F_n(x^{(k)})}{\partial x_2} \Delta x_2^{(k)} + \dots + \frac{\partial F_n(x^{(k)})}{\partial x_n} \Delta x_n^{(k)} = -F_n(x^{(k)}). \end{cases}$$

Для решения этой СЛАУ необходимо и достаточно, чтобы матрица этой системы

$$J(x^{(k)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_1(x^{(k)})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_n(x^{(k)})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_n(x^{(k)})}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

была невырожденной, т.е. существовала обратная матрица $(J(x^{(k)}))^{-1}$. Матрицу J называют матрицей Якоби.

В матрично-векторной форме: $J(x^{(k)}) \Delta x^{(k)} = -F(x^{(k)})$, откуда $\Delta x^{(k)} = -J^{-1}(x^{(k)}) F(x^{(k)})$.

Соотношение для решения систем нелинейных уравнений методом Ньютона: $x^{(k+1)} = x^{(k)} - J^{-1}(x^{(k)}) F(x^{(k)})$.

Итерационный процесс заканчивается при выполнении условия:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная точность, а вектор $x \approx x^{(k+1)}$.

Метод Ньютона второго порядка является более сложным за счёт вычисления вторых частных производных, однако, количество итераций будет меньше чем при методе Ньютона (методе простой итерации).

Реализация метода. Пусть задано нелинейное уравнение $f(x) = 0$ и известно начальное приближение $x^{(0)}$. Нелинейную функцию $f(x)$ разложим в ряд Тейлора в окрестности начального приближения, т.е. при $x = x^{(0)}$.

$$f(x)_{x=x^{(0)}} = f(x^{(0)}) + \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x^{(0)}} * \delta x + \left. \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \right|_{x=x^{(0)}} * \delta x^2 = 0,$$

где $\left[\frac{d^2 f(x)}{dx^2} \right] = G$ - матрица Гессе – матрица частных производных второго порядка.

Откуда

$$0 = f(x^{(0)}) + f'(x)|_{x=x^{(0)}} * (x^{(0)} - x) + f''(x)|_{x=x^{(0)}} * (x^{(0)} - x),$$

$$\partial x^{(0)} = - \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)}) + f''(x^{(0)})}.$$

Для k -того приближения:

$$x^{(k)} = x^{(k-1)} - \frac{f(x^{(k-1)})}{f'(x^{(k-1)}) + f''(x^{(k-1)})}.$$

Для получения расчёта режима необходимо организовать итерационный процесс, который закончится, когда достигается заданная точность расчёта:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon.$$

Проведем расчеты режима простейшей электрической сети постоянного тока (рисунок 1) при задании нагрузок в мощностях в среде Mathcad.

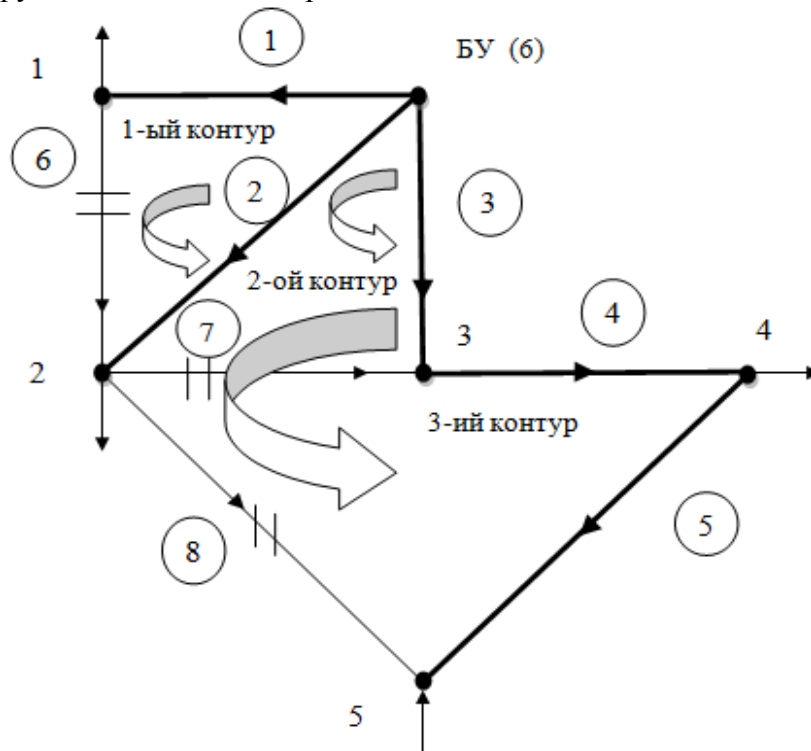


Рисунок 1 – Схема электрической сети

Принимаем номинальное напряжение электрической сети равным 110 кВ, а напряжением в балансирующем узле (БУ) 115 кВ.

Задаем нагрузки в узлах электрической сети и список ребер, для дальнейшего формирования первой матрицы соединений, определения матрицы сопротивлений ветвей и матрицы узловых проводимостей:

$$P := \begin{pmatrix} -40 \\ -32 \\ 0 \\ -53 \\ 60 \end{pmatrix} \quad R := \begin{pmatrix} 6 & 6 & 6 & 3 & 4 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 2 & 3 & 5 \\ 40 & 29 & 39 & 44 & 57 & 46 & 34 & 51 \end{pmatrix} \quad M\Sigma = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В списке ребер третья строка несет информацию о протяженности ветвей. Удельное сопротивление ветвей принято 0,2 Ом/км.

Реализовываем метод Ньютона второго порядка с помощью пользовательских функций в среде Mathcad. Данные функции используем для определения вектор-функции небаланса, матрицы Якоби и матрицы Гессе.

```

ntonVT(X, e) :=
k ← rows(X)
for j ∈ 1..k
    Mf1,j+1 ← Xj
Mf1,k+2 ← max(W(X))
for i ∈ 2..80
    fU ← -J(X)-1 · W(X)
    D ←  $\frac{1}{2}$  · G(X) · (fU)2
    fU2 ← -J(X + fU)-1 · (W(X) + D)
    Z ← X + fU2
    b ← max(|fU2|)
    X ← Z
    for j ∈ 1..k
        Mfi,j+1 ← Xj
    Mfi,1 ← i - 1
    Mfi,k+2 ← max(W(X) + D)
    Mfi,k+3 ← b
    break if b < e
Mf
    
```

```

W(U) :=
for i ∈ 1..rows(P)
    Wi ← 0
    for j ∈ 1..rows(P)
        Wi ← Wi + Yyi,j · Uj
    Wi ← Wi - Ubu ·  $\sum_{j=1}^{rows(P)} Y_{y_{i,j}} - \frac{P_i}{U_i}$ 
return W
    
```

```

J(U) :=
for i ∈ 1..rows(P)
    for j ∈ 1..rows(P)
        Ji,j ← (Yyi,j) if i ≠ j
        Ji,j ← Yyi,j -  $\frac{(-P)_i}{(U_i)^2}$  if i = j
return J
    
```

```

G(U) :=
for i ∈ 1..rows(P)
    for j ∈ 1..rows(P)
        Gi,j ← 0 if i ≠ j
        Gi,j ←  $\frac{-2 \cdot (-P)_i}{(U_i)^3}$  if i = j
return G
    
```

Для того чтобы исключить заикливание итерационного процесса максимальное число итераций ограничено 80.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты расчета по методу Ньютона и по методу Ньютона второго порядка – значения напряжений в узлах, максимальный небаланс токов в узлах и наибольшее изменение напряжения на итерационном шаге.

Для получения решения необходимо обратиться к составленным функциям и записать выражение вида:

$$NVT := ntonVI(U0, 0.01)$$

В этом выражении после названия функции указываются начальные приближения напряжения в узлах и требуемая точность расчета.

Таблица 1 – Результаты расчета по методу Ньютона

Номер итерации	Напряжение в узле, кВ					Максимальный небаланс, кА	$\Delta U_{нб}$, кВ
	1	2	3	4	5		
0	110	110	110	110	110	0,482	0
1	112,979	113,909	113,838	112,435	115,99	$3,547 \cdot 10^{-4}$	5,99
2	112,979	113,911	113,84	112,441	116,001	$1,084 \cdot 10^{-9}$	0,012
3	112,979	113,911	113,84	112,441	116,001	0	$4,228 \cdot 10^{-8}$

Таблица 2 – Результаты расчета по методу Ньютона второго порядка

Номер итерации	Напряжение в узле, кВ					Максимальный небаланс, кА	$\Delta U_{нб}$, кВ
	1	2	3	4	5		
0	110	110	110	110	110	0,482	0
1	112,978	113,911	113,84	112,44	116	$1,455 \cdot 10^{-3}$	6
2	112,979	113,911	113,84	112,441	116,001	$7,248 \cdot 10^{-11}$	$1,373 \cdot 10^{-3}$

Проводим серию вычислений, изменяя точность расчётов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительные результаты расчета

Коэффициент утяжеления	Количество итераций								
	метод Ньютона			метод Ньютона второго порядка			метод касательных		
	точность расчета, кВ			точность расчета, кВ			точность расчета, кВ		
	0,1	0,01	0,001	0,1	0,01	0,001	0,1	0,01	0,001
1	2	3	3	2	2	3	2	3	3
5	3	3	3	2	3	3	3	4	5
7	3	4	4	3	3	3	4	6	8
8	4	4	5	3	4	4	6	9	12
8,5	5	5	6	3	4	4	11	18	25
8,62	итерационный процесс разошелся								

По результатам проведенных расчётов можно отметить, что метод Ньютона второго порядка дает результат решения нелинейных алгебраических уравнений быстрее, чем метод Ньютона (метод простой итерации) или его модификация – метод касательных. Скорость сходимости итерационных методов зависит от близости начальных данных к решению задачи и от точности расчета.

Литература

1. Численные методы. В.Ф. Формалев, Д.Л. Ревизников. - М.:Физматгиз, 2004. - 400 с.
2. Численные методы на базе MathCAD. С.В. Поршневу, И.В. Беленкова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 464 с.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КВАДРАТНЫХ КОРНЕЙ ДЛЯ РАСЧЁТА РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО УРАВНЕНИЯМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗАДАНИИ НАГРУЗОК В ТОКАХ

Кушнер Д.А.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Для расчета установившихся режимов электрической сети наиболее эффективными и удобными для реализации на ЭВМ являются уравнения узловых напряжений [1]:

$$\begin{cases} y_{11} \cdot U_{\Delta 1} + y_{12} \cdot U_{\Delta 2} + y_{13} \cdot U_{\Delta 3} = J_1 \\ y_{21} \cdot U_{\Delta 1} + y_{22} \cdot U_{\Delta 2} + y_{23} \cdot U_{\Delta 3} = J_2 \\ y_{31} \cdot U_{\Delta 1} + y_{32} \cdot U_{\Delta 2} + y_{33} \cdot U_{\Delta 3} = J_3 \end{cases}$$

или в матричном виде

$$Y \cdot U_{\Delta} = J.$$

Если известна обратная матрица Y^{-1} , то решение системы уравнений получается в виде:

$$U_{\Delta} = Y^{-1} \cdot J.$$

Размерность матрицы узловых проводимостей определяется числом узлов в электрической сети. Схемы реальных электрических сетей могут содержать десятки и сотни узлов. Вычисление обратной матрицы в таком случае связано со значительными трудностями.

Методы решения систем линейных алгебраических уравнений делятся на две группы:

1) прямые или точные методы, позволяющие найти решение за определенное число операций. К прямым методам относятся: метод Гаусса и его модификации (в том числе метод прогонки), метод LU-разложения и др.;

2) итерационные методы, основанные на использовании повторяющегося (циклического) процесса и позволяющие получить решение в результате последовательных приближений. Операции, входящие в повторяющийся процесс, составляют итерацию. К итерационным методам относятся: метод простых итераций, метод Зейделя и др.

Метод квадратных корней относится к группе точных методов [2].

Рассмотрим применение метода квадратных корней для расчета режима электрической сети постоянного тока (рисунок 1).

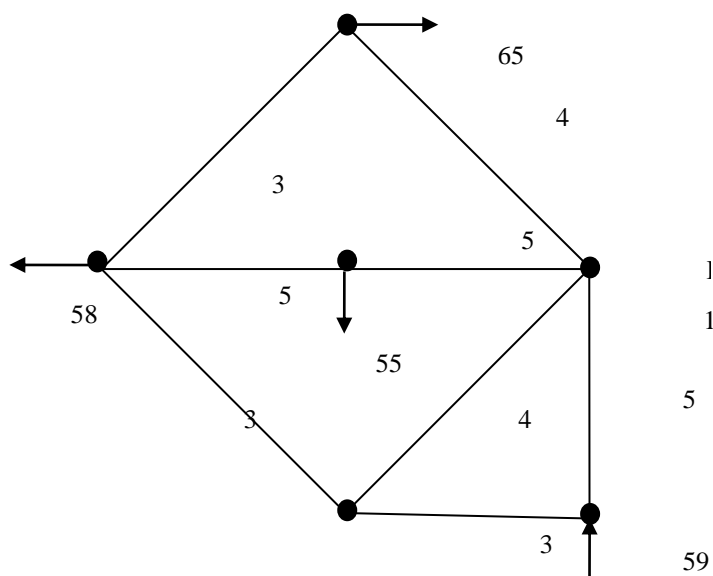


Рисунок 1 – Схема и параметры электрической сети

Принимаем номинальное напряжение электрической сети равным 110 кВ, удельное сопротивление ветвей 0,2 Ом/км. Первая матрица соединений, матрицы задающих токов в узлах, кА, и узловых проводимостей, См представлены ниже:

$$M = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad J = \begin{pmatrix} -0.655 \\ 0 \\ 0.591 \\ -0.555 \\ -0.582 \end{pmatrix} \quad Y_y = \begin{pmatrix} 0.292 & 0 & 0 & 0 & -0.167 \\ 0 & 0.393 & -0.135 & 0 & -0.139 \\ 0 & -0.135 & 0.229 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.192 & -0.096 \\ -0.167 & -0.139 & 0 & -0.096 & 0.402 \end{pmatrix}$$

Суть метода заключается в следующем. Пусть имеется система уравнений вида:

$$A \cdot X = B.$$

Представим матрицу A в форме:

$$A = U^T \cdot U.$$

Находя произведение $U^T \cdot U$, составим систему уравнений относительно неизвестных элементов матрицы:

$$\begin{pmatrix} u_{11} & 0 & \dots & 0 \\ u_{12} & u_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{1n} & u_{2n} & \dots & u_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Система имеет следующий вид:

$$\begin{cases} u_{11}^2 = a_{11}, & u_{11} \cdot u_{12} = a_{12}, \dots, u_{11} \cdot u_{1n} = a_{1n}; \\ u_{11}^2 + u_{22}^2 = a_{22}, \dots, u_{12} \cdot u_{1n} + u_{22} \cdot u_{2n} = a_{2n} \\ \dots \\ u_{1n}^2 + u_{2n}^2 + \dots + u_{nn}^2 = a_{nn} \end{cases}$$

Из первой строки системы находим:

$$u_{11} = \sqrt{a_{11}}, \quad u_{1j} = \frac{a_{1j}}{u_{11}}, \quad j = 2, 3, \dots, n$$

Из второй строки определяем:

$$u_{22} = \sqrt{a_{22} - u_{12}^2}, \quad u_{2j} = \frac{a_{2j} - u_{12} \cdot u_{1j}}{u_{22}}, \quad j = 3, 4, \dots, n$$

Таким образом, элементы матрицы U находятся из соотношений:

$$u_{ii} = \sqrt{a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ki}^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$u_{ij} = \frac{1}{u_{ii}} \cdot \left(a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ki} \cdot u_{kj} \right), \quad j = 2, 3, \dots, n; j > i; u_{ij} = 0 (j < i).$$

Если матрица A представима в форме $U^T \cdot U$, то система $A \cdot X = B$ имеет вид $U^T \cdot U \cdot X = B$. Решение этой системы сводится к последовательному решению двух систем с треугольными матрицами. В итоге процедура решения состоит из двух этапов:

1. Прямой ход. Находим элементы матрицы U

$$\begin{aligned}
 U_{1,1} &= \sqrt{Yy_{1,1}} = 0.54 & U_{1,2} &= \frac{Yy_{1,2}}{U_{1,1}} = 0 & U_{1,3} &= \frac{Yy_{1,3}}{U_{1,1}} = 0 & U_{1,4} &= \frac{Yy_{1,4}}{U_{1,1}} = 0 & U_{1,5} &= \frac{Yy_{1,5}}{U_{1,1}} = -0.309 \\
 U_{2,2} &= \sqrt{Yy_{2,2} - (U_{1,2})^2} = 0.627 & U_{2,3} &= \frac{Yy_{2,3} - U_{1,2} \cdot U_{1,3}}{U_{2,2}} = -0.2 & U_{2,4} &= \frac{Yy_{2,4} - U_{1,2} \cdot U_{1,4}}{U_{2,2}} = 0 & U_{2,5} &= \frac{Yy_{2,5} - U_{1,2} \cdot U_{1,5}}{U_{2,2}} = -0.222 \\
 U_{3,3} &= \sqrt{Yy_{3,3} - (U_{1,3})^2 - (U_{2,3})^2} = 0.428 & U_{3,4} &= \frac{Yy_{3,4} - U_{1,3} \cdot U_{1,4} - U_{2,3} \cdot U_{2,4}}{U_{3,3}} = 0 & U_{3,5} &= \frac{Yy_{3,5} - U_{1,3} \cdot U_{1,5} - U_{2,3} \cdot U_{2,5}}{U_{3,3}} = -0.112 \\
 U_{4,4} &= \sqrt{Yy_{4,4} - (U_{1,4})^2 - (U_{2,4})^2 - (U_{3,4})^2} = 0.439 & U_{4,5} &= \frac{Yy_{4,5} - U_{1,4} \cdot U_{1,5} - U_{2,4} \cdot U_{2,5} - U_{3,4} \cdot U_{3,5}}{U_{4,4}} = -0.219 \\
 U_{5,5} &= \sqrt{Yy_{5,5} - (U_{1,5})^2 - (U_{2,5})^2 - (U_{3,5})^2 - (U_{4,5})^2} = 0.444
 \end{aligned}$$

Таким образом, получаем вспомогательные матрицы

$$U = \begin{pmatrix} 0.54 & 0 & 0 & 0 & -0.309 \\ 0 & 0.627 & -0.216 & 0 & -0.222 \\ 0 & 0 & 0.428 & 0 & -0.112 \\ 0 & 0 & 0 & 0.439 & -0.219 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.444 \end{pmatrix} \quad U^T = \begin{pmatrix} 0.54 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.627 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.216 & 0.428 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.439 & 0 \\ -0.309 & -0.222 & -0.112 & -0.219 & 0.444 \end{pmatrix}$$

Произведение $U \cdot X$ обозначим через H . В результате решения системы $U^T \cdot H = B$ находится столбец H :

$$\begin{cases} 0,54 \cdot H_1 = -0,655 \\ 0,627 \cdot H_2 = 0 \\ -0,216 \cdot H_2 + 0,428 \cdot H_3 = 0,591 \\ 0,439 \cdot H_4 = -0,555 \\ -0,309 \cdot H_1 - 0,222 \cdot H_2 - 0,112 \cdot H_3 - 0,219 \cdot H_4 + 0,444 \cdot H_5 = -0,582 \end{cases}$$

$$H = \begin{pmatrix} -1.212 \\ 0 \\ 1.381 \\ -1.265 \\ -2.432 \end{pmatrix}$$

2. Обратный ход. В результате решения системы $U \cdot X = H$ находится решение задачи - столбец X .

$$\begin{cases} 0,54 \cdot x_1 - 0,309 \cdot x_5 = -1,212 \\ 0,627 \cdot x_2 - 0,216 \cdot x_3 - 0,222 \cdot x_5 = 0 \\ 0,428 \cdot x_3 - 0,112 \cdot x_5 = 1,381 \\ 0,439 \cdot x_4 - 0,219 \cdot x_5 = -1,265 \\ 0,444 \cdot x_5 = -2,432 \end{cases}$$

Решив данную систему, получим искомые падения напряжения в узлах относительно напряжения в балансирующем узле, кВ, а затем узловые напряжения, кВ:

$$U\Delta = X = \begin{pmatrix} -5.376 \\ -1.318 \\ 1.799 \\ -5.624 \\ -5.481 \end{pmatrix} \quad U_y = U\Delta + Ubu \cdot n = \begin{pmatrix} 111.624 \\ 115.682 \\ 118.799 \\ 111.376 \\ 111.519 \end{pmatrix}$$

Выводы:

- 1) метод квадратных корней позволяет решить систему линейных алгебраических уравнений без нахождения обратной матрицы;
- 2) метод можно применять для решения систем уравнений узловых напряжений, а решив эту систему можно в дальнейшем рассчитать режим электрической сети;
- 3) метод легко реализовать на ЭВМ.

Литература

1. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/ А. А. Герасименко, В. Т. Федин. - Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. - 720 с.
2. Численные методы. Часть первая: Учебное пособие / В.И. Мышенков, Е.В. Мышенков – М.:МГУЛ,2001. – 120 с.

УДК 621.311

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Кохан О.С.

Научный руководитель – д.т.н, профессор Фурсанов М.И.

В данной статье проведем анализ технологического расхода электроэнергии в распределительной электрической сети 0,4-10 кВ.

Цели анализа потерь электроэнергии заключаются:

в выявлении зон и конкретных элементов с повышенными техническими потерями в сетях всех напряжений;

в выявлении фидеров 6-10 кВ и линий 0,4 кВ с повышенными коммерческими потерями;

в оценке влияния на технологические потери основных параметров поступления и отпуска электроэнергии из сети на основе сопоставительных расчетов потерь при различных значениях параметров или по нормативной характеристике потерь.

Анализ потерь электроэнергии должен осуществляться ежемесячно, так как режимы работы сетей и схемы сетей периодически изменяются.

Для верного анализа потерь электроэнергии в распределительной электрической сети необходимо правильно трактовать понятие «технологического расхода электроэнергии» или собственно «потери».

Фактические (отчетные) потери электроэнергии ΔW_o - разность между электроэнергией, поступившей в сеть, ΔW_c (по показаниям счетчиков приема электрической энергии) и электроэнергией, отпущенной потребителям, ΔW_n (по показаниям счетчиков отпуска электроэнергии):

$$\Delta W_o = \Delta W_c - \Delta W_n. \quad (1)$$

Электрическая энергия, поступившая в сеть, определяется в виде разности:

$$\Delta W_c = \Delta W_r - \Delta W_{сн}, \quad (2)$$

где ΔW_r – отпуск электроэнергии с шин электростанций;

$\Delta W_{сн}$ – расход электроэнергии на собственные нужды энергосистемы (освещение электростанций, энергоснабжение вспомогательного оборудования, ремонтных площадок и т.д.).

Отчетные потери состоят из трех составляющих:

ΔW_t – технические потери электроэнергии, обусловленные расходом электроэнергии при ее передаче по сетям энергосистем, который обусловлен физическими процессами, происходящими при передаче энергии по сетям, и определяется только расчетным путем;

ΔW_y – недоучет электроэнергии, обусловленный большими отрицательными погрешностями приборов учета электроэнергии у потребителей по сравнению с аналогичными погрешностями приборов приема электроэнергии в сеть;

ΔW_k – коммерческие потери электроэнергии, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствиями между показаниями электросчетчиков и оплатой и другими причинами.

Таким образом:

$$\Delta W_o = W_t + W_y + \Delta W_k.$$

Технические потери электроэнергии ΔW_t составляют нагрузочные потери ΔW_n в элементах сети и оборудовании и условно-постоянные потери $\Delta W_{п.}$

На практике наибольшую сложность представляют определение нагрузочных потерь ΔW_n . Существуют следующие методы расчета нагрузочных потерь:

метод графического интегрирования;

метод среднеквадратичного тока;

метод времени максимальных потерь;
метод раздельного времени максимальных потерь;
метод эквивалентного сопротивления;
вероятностно-статистический метод и т.д.

Методы поэлементных расчетов применяются для определения потерь в отдельных линиях и трансформаторах, потери в которых существенно зависят от транзитных перетоков и которые оснащены устройствами телемеханики. А остальные методы используются при определении нагрузочных потерь электроэнергии в распределительных разомкнутых сетях 0,38-110 кВ.

Определение потерь в электрических сетях энергосистем – это только одна из составных частей общей проблемы энергосистемы. Далее необходимо производить оценку полученных значений и структуры потерь, анализировать и производить мероприятия по снижению потерь электроэнергии, учитывать при проектировании с целью стремления к оптимальным параметрическим и режимным характеристикам сети. С другой стороны, успешный анализ потерь позволяет вплотную подойти к оценке существующего состояния сети и далее к нахождению оптимального режима работы электрической сети путем расчета оптимальных уровней потерь электроэнергии в энергосистеме.

Литература

1. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. — Мн.: УВИЦ при УП "Белэнергосбережение", 2005.— 207 с.: ил.
2. Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В. Учёт потребительских энергоисточников в расчётах распределительных электрических сетей 6-10 кВ. «Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ. Энергетика». — 2011. — № 4. — С. 15 — 17.
3. Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В. Расчёт режимов и потерь мощности в электрических сетях 0,38 кВ с учётом повторного заземления нулевого провода «Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ. Энергетика». — 2007. — № 5. — С. 5 — 18.

УДК 621.311.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОРАЙОНА

Карпеченко А.А.

Научный руководитель – ассистент Секацкий Д.А.

В энергосистеме (ЭС) в любой момент времени должен быть резерв активной мощности для поддержки номинальной частоты. Дефицит активной мощности, вызванный отключением части генераторов или включением новых потребителей, повлечёт за собой снижение частоты в энергосистеме. Если снижение частоты на несколько десятых герца не представляет особой опасности для нормальной работы энергосистемы, то снижение на 1-2 Гц может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Одним из основных методов противоаварийной автоматики, направленных на повышение надёжности работы электроэнергетической системы, является автоматическая частотная разгрузка (АЧР).

Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита активной мощности, можно подразделить на три категории:

1 категория АЧР-1 – быстродействующая ($t = 0,1-0,3$ с) с уставками срабатывания от 49 Гц (даже от 49,3 Гц) до 46,5 Гц;

2 категория АЧР-2 – предназначена для восстановления частоты до нормального значения, если она длительно остаётся на уровне ниже требуемого. АЧР-2 работает после того, как отработала часть очередей АЧР-1;

3 категория – совмещенные уставки АЧР-1 и АЧР-2.

Исследуемый энергорайон (рисунок 1) состоит из трёх узлов генерации (КЭС, ТЭЦ-1, ТЭЦ-2) и 6 узлов нагрузки (4 удалённых и 2 местных). Энергорайон получает питание от системы по двум линиям.

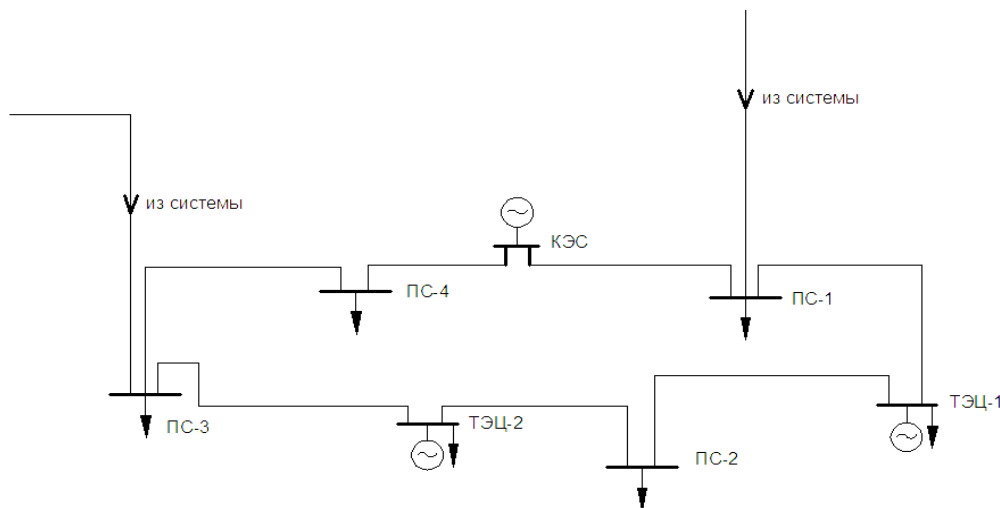


Рисунок 1 – Схема исследуемого энергорайона

Годовой график нагрузки для упрощения представлен двухступенчатым – зимний и летний периоды, а суточный – дневной и вечерней ступенями. В любое время суток и года энергорайон является дефицитным – потребление преобладает над генерацией. Характеристика размещённых на подстанциях устройств АЧР:

- общий объём нагрузки, подключённой к АЧР, составляет 23,13% от максимальной;
- объём АЧР-1 составляет 27,71 %, АЧР-2 – 10,69 %, АЧР совмещённой – 61,60 % от общего количества устройств АЧР;

Объём АЧР-1 по группам уставок частоты представлен на рисунке 2.

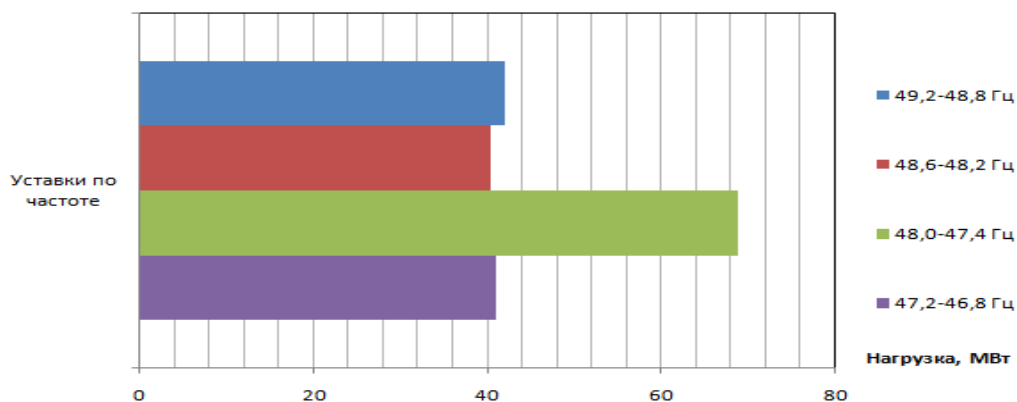


Рисунок 2 – Распределение нагрузки по очередям АЧР I (в т.ч. и совмещённая)

На блок уставок по частоте 48,0-47,4 Гц подключена большая нагрузка, чем на остальные, что нарушает требования о равномерном распределении нагрузки [1], или распределении в виде «перевернутой пирамиды» – первые ступени отключают большую нагрузку, последующие – меньше [2].

Анализ работы АЧР был проведён при помощи программы «Power», разработанной на кафедре «Электрические системы» БНТУ. Исследования будут проводиться в следующих направлениях:

- определение дефицита активной мощности, для возникновения лавины частоты;
- оценка объёма АЧР, выведенного из ЭС, который при выделении на изолированную работу энергорайона не наступала лавина частоты;
- оценка показателей эффективности автоматики при распределении нагрузки по очередям в виде «убывающей пирамиды».

Результаты исследований представим в таблице 1.

Режим	Выделение района на изолированную работу (отключение системных линий)			Минимальный объем работающих комплектов АЧР для предотвращения лавины частоты, %	Дополнительное воздействие до наступления лавины частоты
	Дефицит мощности, МВт	Отключённая АЧР нагрузка, МВт	Установившееся значение частоты, Гц		
Зима вечер	175	149,5	49,1	56	Отключение генератора мощностью более 100 МВт
Зима день	25	15	49,3	10	Отключение генераторов суммарной мощностью

Таблица 1 – Результаты исследований режимов энергорайона

					более 200 МВт
Лето вечер	320	Произошла лавина частоты			
Лето день	80	114	48,2	50	Отключение генераторов суммарной мощностью более 125 МВт

В зимний период АЧР, в случае аварии, выполняет все возложенные функции, а в летний – вечером происходит лавина частоты, днём – нарушается требование о минимизации ущерба [3]: отключённая нагрузка больше, чем изначальный дефицит активной мощности.

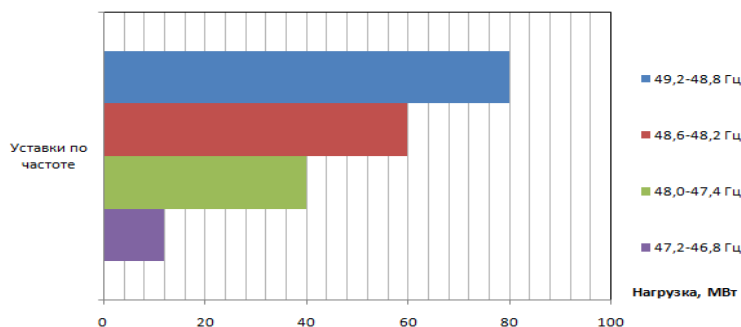


Рисунок 3 – Распределение нагрузки по очередям АЧР-I (в т.ч. и совмещённая)

Произведём оптимизацию распределения нагрузки по ступеням АЧР в соответствии с рекомендациями [2]. После оптимизации диаграмма распределения нагрузок по уставкам АЧР приведена на рисунке 3, а результаты исследований в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований режимов энергорайона

Режим	Выделение района на изолированную работу (отключение системных линий)			Минимальный объем работающих комплектов АЧР для предотвращения лавины частоты, %	Дополнительное воздействие до наступления лавины частоты
	Дефицит мощности МВт	Отключённая АЧР нагрузка, МВт	Установившееся значение частоты, Гц		
Зима вечер	175	151	49,2	35	Отключение генераторов суммарной мощностью более 135 МВт
Зима день	25	22	49,9	8	Отключение генераторов суммарной мощностью более 210 МВт
Лето вечер	320	Лавина частоты			
Лето день	80	72	49,1	15	Отключение генераторов суммарной мощностью более 170 МВт

Оптимизация распределения нагрузки по ступеням АЧР – одно из мероприятий, позволяющих улучшить следующие показатели работы АЧР:

- получить более высокое установившееся значение частоты и больший дефицит активной мощности для наступления лавины частоты и;
- снижение отключённой нагрузки на 35 % в летний день с меньшим объёмом АЧР.

Необходимо отметить, что после проведения оптимизационных мероприятий, летний период вечернего времени суток все же остаётся уязвимым для работоспособности района. Требуется увеличить общий объём устройств АЧР.

В зимний период наблюдается снижение эффективности АЧР при минимизации ущерба – отключённая нагрузка увеличилась на 2,5 МВт в вечернее время суток и 7 МВт в дневное время суток.

Литература

1. Руководящие указания по противоаварийной автоматике энергосистем. Минск: ГПО Бэлэнерго, 2007.
2. Данильчук, В. Н. Автоматика ограничения изменений частоты энергосистем. Практическое пособие для инженеров по обслуживанию частотных автоматик, блокировок и защит. / В. Н. Данильчук. — Киев: Объединенная энергосистема Украины (ОЭС Украины), 2014. — 440 с.
3. Рабинович, Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем /Р. С. Рабинович.— 2-е изд. перераб. и доп. изд.— М: Энергоатомиздат, 1989.— 352 с.

УДК 681.783.323.3

МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Дашковский А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Рассмотрим математические модели силовых трансформаторов, которые применяются в задачах, связанных с расчётом установившихся режимов схем электрических сетей. Получим математическую модель однофазного двухобмоточного трансформатора. Вначале предположим, что трансформатор не имеет магнитопровода (воздушный трансформатор), тогда он может быть представлен схемой рис. 1, в которой активные сопротивления обмоток изображены отдельно.

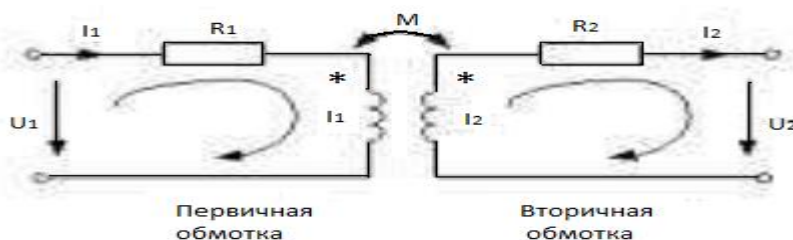


Рис.1 – Схема воздушного трансформатора

При обходе контуров на схеме рис. 1 в соответствии с заданными направлениями по второму закону Кирхгофа получим уравнения трансформатора в дифференциальной форме:

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ -U_2 &= R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

При синусоидальных токах и напряжениях уравнения (1) в комплексной форме записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 I_1 + j\omega L_1 I_1 - j\omega M I_2 \\ -U_2 &= R_2 I_2 + j\omega L_2 I_2 - j\omega M I_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Эти уравнения равносильны следующим:

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 I_1 + j\omega(L_1 - M)I_1 - j\omega M(I_1 - I_2) \\ -U_2 &= R_2 I_2 + j\omega(L_2 - M)I_2 - j\omega M(I_1 - I_2) \end{aligned} \quad (3)$$

Последним уравнениям соответствует схема замещения рис. 2. В отличие от рис. 1 в схеме замещения первичная и вторичная цепи трансформатора связаны не индуктивно, а гальванически.

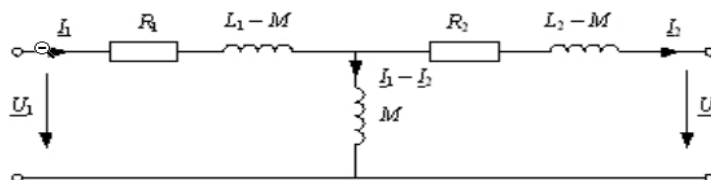


Рис.2 – Схема замещения

Входящие в схему рис. 2 разности $L_1 - M$ и $L_2 - M$ имеют физический смысл только при одинаковом числе витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток ($w_1 = w_2$).

В реальных трансформаторах для моделирования потерь в стали в схему замещения трансформатора вводят активную проводимость G_μ . Для моделирования эффекта намагничивания сердечника вводят реактивную проводимость B_μ .

Если взять за основу математической модели трансформатора так называемой идеальный трансформатор с коэффициентом трансформации $n = \frac{w_1}{w_2}$, для которого относительная магнитная проницаемость равна бесконечности и ток намагничивания равен нулю, то добавлением к нему элементов, учитывающих основные паразитные эффекты, можно получить полную схему замещения трансформатора (рис. 3).

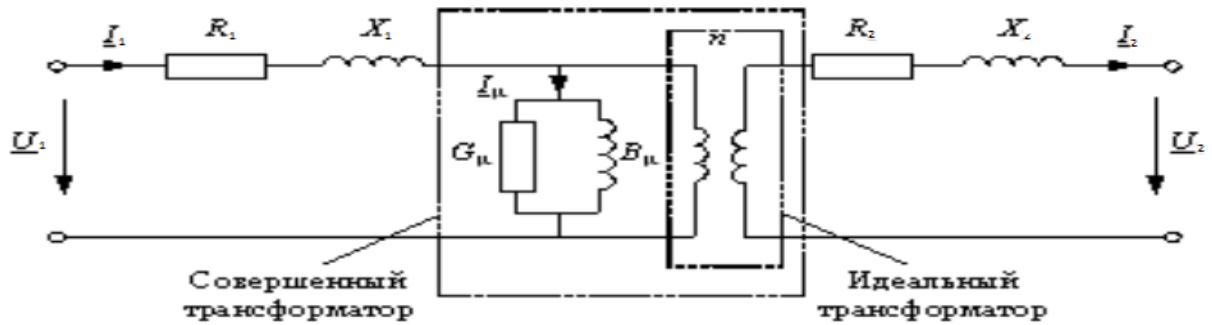


Рис.3 – Полная схема замещения трансформатора

Потери энергии в обмотках трансформатора при протекании по ним токов учитываются активными сопротивлениями R_1 и R_2 , последовательно с ними включены индуктивности рассеяния, которые учитывают эффект запасания энергии и наведения напряжения в обмотках от потоков рассеяния. Этим индуктивностям соответствуют индуктивные сопротивления обмоток X_1 и X_2 . Ток намагничивания обуславливает намагничивающую силу, которая создаёт поток взаимной индукции. Величина тока намагничивания I_μ пропорциональна напряжению первичной обмотки. Параллельно индуктивной проводимости намагничивания B_μ включают активную проводимость G_μ , учитывающую потери в сердечнике.

Таким образом, *идеальным трансформатором* является трансформатор, для которого при любых условиях $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = n$. Трансформатор, для которого при любой нагрузке $\frac{U_1}{U_2} = n$, называется *совершенным трансформатором* (рис. 3).

Во многих случаях пользуются приведенной Т-образной схемой замещения трансформатора (рис. 4). Получается она приведением сопротивлений вторичной обмотки к напряжению первичной обмотки по соотношениям:

$$U_2' = nU_2, I_2' = \frac{1}{n}I_2 \tag{4}$$

На схеме рис. 4 отмечены ток и напряжение:

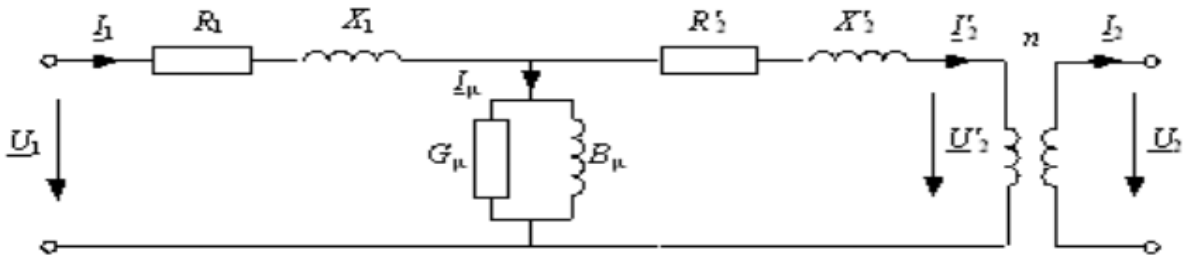


Рис.4 – Т-образная схема замещения

Обычно для силовых трансформаторов более целесообразна так называемая Г-образная схема замещения, элементы которой имеют простой физический смысл и могут быть вычислены или измерены.

Ветвь намагничивания переносится на зажимы первичной обмотки и оказывается включенной на напряжение U_1 . Это вносит погрешность в математическую модель, так как в действительности ток намагничивания протекает по первичной обмотке. Сопротивления первичной обмотки оказываются последовательно включёнными с приведенными сопротивлениями вторичной обмотки, и при их сложении получают так называемые сопротивления трансформатора R_T и X_T (рис.5): $R_T = R_1 + R_2'$, $X_T = X_1 + X_2'$

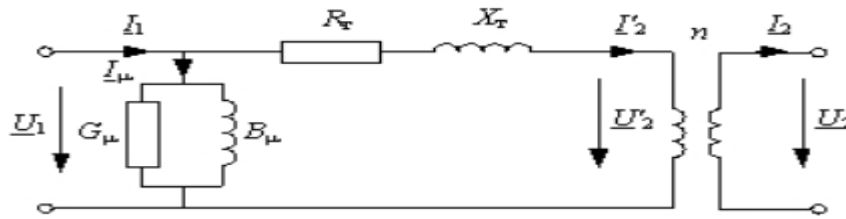


Рис.5 – Г-образная схема замещения

Полученная схема носит название Г-образной схемы замещения трансформатора и применяется для выполнения расчётов схем электрических сетей, где она ещё больше упрощается посредством представления ветви холостого хода в виде постоянных величин потерь активной и реактивной мощности на холостой ход (рис. 6).

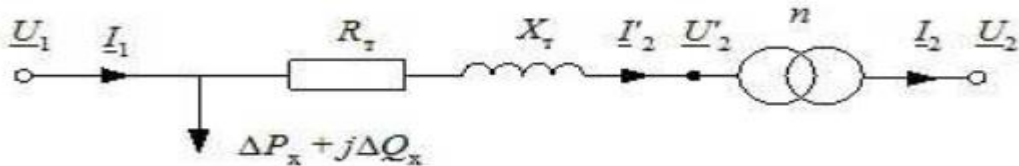


Рис.6 –Упрощённая схема замещения трансформатора

Всё полученное выше для однофазных трансформаторов можно распространить на каждую фазу трёхфазного трансформатора. Сопротивления и проводимости Г-образной схемы замещения трансформатора, приведены к напряжению обмотки первичного напряжения, определяются по формулам:

$$R_T = \frac{P_k U_{1ном}^2}{S_{ном}^2}, X_T = \frac{U_k U_{1ном}^2}{100 S_{ном}} \tag{5}$$

$$G_\mu = \frac{P_k}{U_{1ном}^2}, B_\mu = \frac{I_k S_{ном}}{100 U_{1ном}^2} = \frac{Q_x}{U_{1ном}^2}$$

Получим параметры П-образной схемы замещения (рис. 7) на основе Г-образной схемы замещения двухобмоточного понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации $n > 1$ (рис.5)

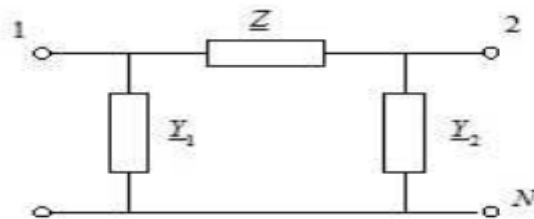


Рис.7 – П-образная схема замещения трансформатора

Найдём напряжение и ток первичной обмотки:

$$U_1 = nU_2 + \Delta U_T = nU_2 + (R_T + jX_T) \frac{I_2}{n} \tag{6}$$

$$I_1 = I_\mu + \frac{I_2}{n} = (G_\mu - jB_\mu)U_1 + \frac{I_2}{n} \tag{7}$$

После подстановки (6) в (7) получим:

$$I_1 = (G_\mu - jB_\mu)U_2 + \frac{1}{n}((R_T + jX_T)(G_\mu - jB_\mu) + 1)I_2 \tag{8}$$

Сопоставляя выражения (6) и (9) с уравнениями четырёхполюсника:

$$\begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2 \\ I_1 &= CU_2 + DI_2 \end{aligned} \tag{9}$$

Из полученных соотношений можно найти параметры П-образной схемы замещения трансформатора:

$$\begin{aligned} A &= 1 + ZY_2 = n \\ B &= Z = \frac{Z_T}{n} \end{aligned} \quad (10)$$

$$C = Y_1 + Y_1ZY_2 + Y_2 = nY_\mu$$

$$D = 1 + ZY_1 = \frac{1}{n}(1 + Z_TY_\mu)$$

$$Z = \frac{1}{Z_T}$$

$$Y_1 = \frac{1}{Z_T}(1 - n) + Y_\mu \quad (11)$$

$$Y_2 = \frac{n}{Z_T}(n - 1)$$

Литература

1. Сухарева Г.М. Г-образная и П-образная схемы замещения силового трансформатора – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ru.calameo.com/read/0026965040a579e704e45>

УДК 681.5.033.3

МОДЕЛИ ЛЭП И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Власов А. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

При расчетах установившихся режимов ЭЭС используются математические модели ЛЭП, трансформаторов и других элементов. Эти модели называются схемами замещения. Для ЛЭП относительно небольшой длины – до 400 км, используются схемы замещения с сосредоточенными параметрами. Воздушные ЛЭП напряжением 110 кВ и выше длиной до 400 км при расчетах установившихся режимов представляются П-образной схемы замещения:

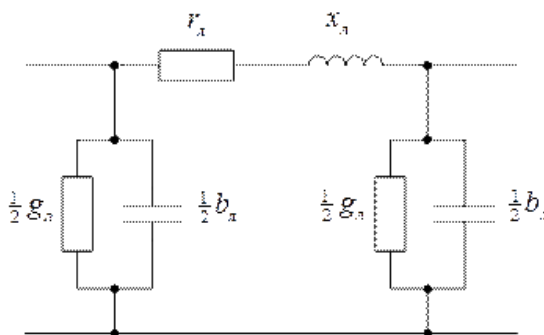


Рис. 1. П-образная схема замещения линии

r_l и x_l – активное и реактивное сопротивление линии соответственно;

g_l и b_l – активная и реактивная проводимость линии соответственно;

При выполнении расчетов линий 110-220 кВ используется упрощенная схема замещения:

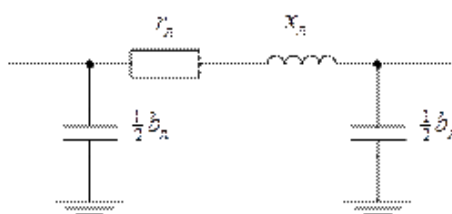


Рис. 2. Упрощенная схема замещения ЛЭП для линий 110-220 кВ

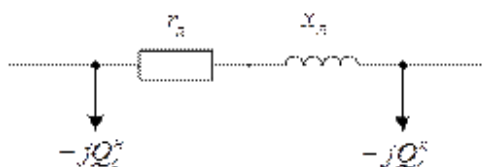


Рис. 3. Схема замещения ЛЭП с учетом зарядной мощности

На рис. 3 в схеме замещения вместо ветвей с проводимостями учитывается реактивная зарядная мощность, генерируемая емкостью линии. Верхние индексы «н» и «к» означают начало и конец линии и эти мощности равны половине всей зарядной мощности.

Для ВЛ 35 кВ и ниже не учитывают зарядную мощность:



Рис. 4. Схема замещения ЛЭП для воздушных линий 35 кВ и ниже

Кабельные ЛЭП представляются также П-образной схемой замещения, но т. к. для КЛ $D_{ср}$ примерно в 100 раз меньше, чем для ВЛ, реактивное сопротивление кабеля становится малым по сравнению с активным и его не учитывают. Несмотря на то, что емкостная проводимость КЛ больше, чем ВЛ, для КЛ напряжением 6-10 кВ зарядная мощность все равно будет незначительной, поэтому ее можно не учитывать.

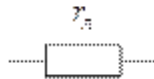


Рис. 5. Схема замещения кабельных линий напряжением 6-10 кВ

Передача электроэнергии по ЛЭП обусловлена распространением электромагнитных волн вдоль проводов. С учетом распределенности параметров линий и изменения токов и напряжений во времени соотношения между токами и напряжения в линии записываются в виде дифференциальных уравнений в частных производных с независимыми переменными времени и одной пространственной координаты. Решение таких уравнений с учетом граничных условий и синусоидальности изменения токов и напряжений во времени записывается в символической форме для действующих значений напряжений и токов по концам ЛЭП:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 * ch(\dot{\gamma} * l) + \dot{I}_2 * sh(\dot{\gamma} * l) \tag{1}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_2}{\dot{z}_c} * sh(\dot{\gamma} * l) + \dot{I}_2 * ch(\dot{\gamma} * l) \tag{2}$$

где \dot{U}_1 и \dot{I}_1 – комплексные действующие значения напряжения и тока в начале линии (со стороны питания);

\dot{U}_2 и \dot{I}_2 – комплексные действующие значения напряжения и тока в конце линии (со стороны нагрузки);

$\dot{z}_c = \sqrt{\frac{\dot{z}_0}{\dot{y}_0}}$ – волновое сопротивление;

$\dot{\gamma} = \sqrt{\dot{z}_0 * \dot{y}_0} = \alpha + j\beta$ – коэффициент распространения волны;

где α – коэффициент затухания волны;

β – коэффициент фазы;

$\dot{z}_0 = r_0 + jx_0$ – комплексная величина погонного сопротивления фазы ЛЭП;

$\dot{y}_0 = g_0 + jb_0$ – комплексная величина погонной проводимости фазы ЛЭП.

Здесь и ниже для трехфазной системы значение тока увеличено в $\sqrt{3}$ раз, поэтому при сопоставлении тока с предельно допустимым его следует делить на $\sqrt{3}$.

Уравнения (1) и (2) называются уравнениями длинной линии и могут быть представлены как уравнения четырехполюсника (рис. 6) через параметры \dot{A} , \dot{B} , \dot{C} , \dot{D} .

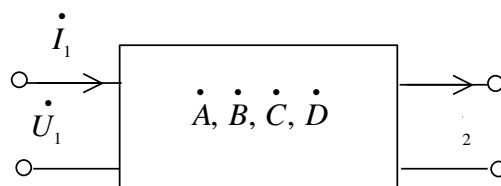


Рис. 6. Четырехполюсник

$$\dot{U}_1 = \dot{A} * \dot{U}_2 + \dot{B} * \dot{I}_2 \tag{3}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{C} * \dot{U}_2 + \dot{D} * \dot{I}_2 \tag{4}$$

Таким образом, математической моделью ЛЭП, учитывающей распределенность параметров однородной ЛЭП, являются уравнения четырехполюсника с коэффициентами, которые получаются при сопоставлении уравнений (1), (2), (3), (4) соответственно. Назовем уравнения (1) и (2) *моделью 1* (уравнения длинной линии). Для упрощения исследования свойств ЛЭП иногда вводят понятие идеальной линии. В идеальной линии параметры r_0 и g_0 приравняются к нулю, что соответствует отсутствию потерь. Такую модель назовем *моделью 2* (уравнение идеальной линии). В практических расчетах очень часто пренебрегают распределенностью параметров линии вследствие того, что большинство линий имеет небольшую длину, и интервал времени распространения электромагнитных волн в таких линиях значительно меньше периода изменения синусоидального напряжения и тока (0,02 с). Математическая модель линии в этом случае значительно упрощается и называется упрощенной моделью с сосредоточенными параметрами – *модель 3*.

Модель 3. Если ЛЭП представить П-образной схемой замещения с сосредоточенными параметрами (рис. 7) и допустить, что значения этих параметров можно вычислить умножением погонных параметров на длину ЛЭП то получим еще одну модель:

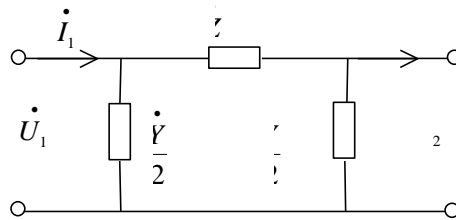


Рис. 7. П-образная схема замещения ЛЭП

Коэффициенты четырехполюсника через параметры схемы замещения равны:

$$\begin{aligned} \dot{A} = \dot{D} &= 1 + \dot{z}_0 * l * \frac{\dot{y}_0 * l}{2} = 1 + \frac{\dot{Z} * \dot{Y}}{2}; \\ \dot{B} &= \dot{z}_0 * l = \dot{Z}; \\ \dot{C}' &= \dot{y}_0 * l + \dot{z}_0 * l * \frac{(\dot{y}_0 * l)^2}{2} = \dot{Y} + \dot{Z} * \left(\frac{\dot{Y}}{2}\right)^2. \end{aligned}$$

Исследуем влияние выбранной модели ЛЭП на расчет установившегося режима. Для расчета будем пользоваться программой Mathcad. За эталонные данные примем данные расчета модели 1, поскольку она является наиболее универсальной в использовании. Расчет будет производиться для линии длиной 1000 км:

$$\begin{aligned} U_2 = 110 \quad I_2 = 10 \\ U_1 := U_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = 312.551 + 1.055i \times 10^3 \quad |U_1| = 1.101 \times 10^3 \\ I_1 := \frac{U_2}{Z_c} \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = 4.517 + 10.881i \quad |I_1| = 11.781 \end{aligned}$$

Рис. 8. Расчет по модели 1.

$$\begin{aligned} U_2 = 110 \quad I_2 = 10 \quad r_0 = 0 \quad g_0 = 0 \\ U_1 := U_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = 59.433 + 841.471i \quad + |U_1| = 843.567 \\ I_1 := \frac{U_2}{Z_c} \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = 0.594 + 8.415i \quad |I_1| = 8.436 \end{aligned}$$

Рис. 9. Расчет по модели 2.

$$\begin{aligned}
 U_2 &= 110 & I_2 &= 10 \\
 \underline{U}_1 &:= U_2 \cdot \left(1 + z_0 \cdot \frac{y_0 \cdot l}{2} \right) + I_2 \cdot (z_0 \cdot l) = 577 + 1.071i \times 10^3 & |U_1| &= 1.217 \times 10^3 \\
 \underline{I}_1 &:= U_2 \cdot \left[y_0 \cdot l + z_0 \cdot \frac{(y_0 \cdot l)^2}{2} \right] + I_2 \cdot \left(1 + z_0 \cdot \frac{y_0 \cdot l}{2} \right) = 6.901 + 7.842i & |I_1| &= 10.446
 \end{aligned}$$

Рис. 10. Расчет по модели 3.

Как видно из результатов расчетов, наибольшую погрешность дает расчет по модели 2, т. к. в ней не учитывается влияние на ЛЭП активного сопротивления и активной проводимости, что соответствует отсутствию потерь в линии, хотя на практике такого быть не может. Погрешность при расчете по модели 3 объясняется тем, что П-образная схема замещения используется, как правило, для расчета линий длиной до 400 км.

Литература

1. Математические модели элементов электроэнергетических систем в расчетах установившихся режимов и переходных процессов: учебное пособие / Р. А. Вайнштейн, Н. В. Коломиец, В. В. Шестакова. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 115 с.
2. Математическое моделирование электрических систем и их элементов / Лыкин А. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 228 с.
3. Математическое моделирование в задачах электроэнергетики / Любченко В. Я. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 68с.

УДК 621.315

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ 730 МВт

Болзан В.А.

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

Конденсационные электростанции (КЭС) проектируются с агрегатами мощностью 100, 160, 200, 300, 500, 800, 1000 и 1200 МВт, имеющими номинальное напряжение генераторов (генераторное напряжение) 10,5 – 24 кВ. Установленная мощность типовых электростанций составляет 2400 – 6400 МВт.

В последнее время в связи с переходом к рыночным отношениям наметилась тенденция к снижению мощности отдельных электростанций и их агрегатов с широким использованием парогазовых (ПГУ) и газотурбинных (ГТУ) установок.

Схемы КЭС на генераторном напряжении строятся по блочному принципу с питанием собственных нужд блока от своей сети генераторного напряжения.

Дадим оценку показателей надежности схемы электрических соединений станций КЭС таблично-логистическим методом с помощью программы TOPAS, разработанной в Санкт-Петербургском государственном техническом университете на кафедре «Электрические станции».

Пакет прикладных программ «TOPAS» позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя распределительные устройства любого класса напряжения, генераторные присоединения, высоковольтные линии электропередачи, присоединения резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторы связи между ними.

Данная программа предназначена для вычисления частот и длительностей возможных аварийных режимов схемы, сопровождающимся отключением от сети генераторов, воздушных линий, трансформаторов связей и др.

Функциональная модель расчета установившихся режимов генерации мощности учитывает пропускные способности трансформаторов и автотрансформаторов, воздушных линий связи с системой (по критерию запаса статической устойчивости работы генераторов).

Вычисление логических показателей надежности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций) $C(k)$, приводящих к отказу ее функционирования k -го вида [1, с.59]

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_s L(i, j, s, k), \quad (1)$$

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

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

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

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

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

Коэффициент неготовности потребителей K_n вычисляется по выражению [1, с. 73]

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} \quad (4)$$

Эффективный способ описания схем электрических соединений достигается при использовании коммутационного графа, ветвями которого являются коммутационные аппараты различных типов, а узлами – остальные связываемые ими элементы схемы. Достоинство главного графа состоит в том, что он обеспечивает необходимую точность топологической модели, простоту описания состояния схемы и возможность перехода к любому другому графу в конкретных задачах исследования схем.

Схема расчета и ее описание

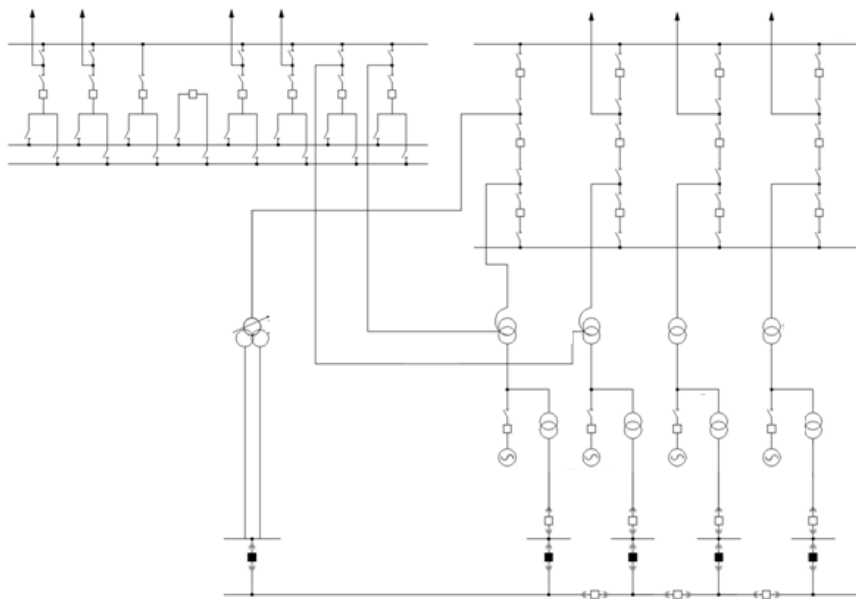


Рисунок 1 Схема КЭС 730

На станции установлено 4 генератора: два мощностью 165 МВт и два мощностью 220 МВт. Два генератора соединены в блоки с блочными масляными трансформаторами, два других подсоединены в трансформаторам связи (автотрансформаторы). От каждого генератора отпайками подсоединены трансформаторы собственных нужд. Резервный трансформатор подключен к шинам 330кВ.

Для ОРУ 110 кВ принята схема с двумя рабочими и обходной системой шин, в которой все выключатели размещаются в один ряд, что облегчает их обслуживание. К ОРУ 110 кВ присоединены 4 линии, питающих нагрузку, два блочных автотрансформатора. Все выключатели элегазовые, колонковые.

Для ОРУ 330 кВ принята схема 3 выключателя на 2 присоединения (полупортальная схема). К ОРУ 330 кВ присоединены два блочных автотрансформатора, 2 линии связи с системой, 1 линия нагрузки и 2 блочных трансформатора связи. На РУ используются выключатели – элегазовые, колонковые.

На собственных нуждах напряжении 6 кВ распределение электроэнергии осуществляется комплектным распределительным устройством (КРУ) внутренней установки с вакуумным выключателем. КРУ выполнено по схеме с одиночной секционированной системой сборных шин. Секции питаются от четырех трансформаторов собственных нужд.

При формировании исходных данных для программы, следует в определенном порядке пронумеровать элементы и сформировать матрицу узловых связей, в которой представлены данные какой коммутационный аппарат связывает какие элементы. Все показатели надежности, для всех элементов, требуемые для расчета примем из базы данных программы TOPAS. В качестве плановых ремонтов примем ремонты каждого выключателя. для получения корректных результатов в этой программе указываем что в аварийных ремонтах одновременно участвует только один элемент.

По результатам расчеты были выявлены наиболее все различные сочетания факторов, при которых в той или иной степени происходит погашение станции. Результаты наиболее тяжелых приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Частоты и длительности аварийных отключений:

Код аварии	Суммарная частота, 1\год	Среднее время восстановления, ч
3Г 4Л	2,78	61,8
4Г 7Л	1	52,86
4Г 7Л 1Н	0,000779	10,55
3Г 4Л 1Н	0,0609	50,25

Примечание: В укрупненных кодах запись 3Г означает потерю любых трех генераторов, запись 3Г 4Л – отключение одновременно трех любых генераторов и четырех воздушных линий; 1Н – одного трансформатора собственных нужд.

Посчитаем коэффициент неготовности потребителей K_n :

1. Отключены 3Г 4Л

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{61,8 \cdot 2,78}{8760} = 0,01961$$

2. Отключены 4Г 7Л

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{1 \cdot 52,86}{8760} = 0,00603$$

3. Отключены 4Г 7Л 1Н

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{10,55 \cdot 0,000779}{8760} = 0,000009381$$

4. Отключены 3Г 4Л 1Н

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{0,0609 \cdot 50,25}{8760} = 0,000349$$

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что вероятность погашения всей станции крайне мала, о чем и свидетельствует малый коэффициент неготовности потребителей.

Литература

1. Черновец, А.К. Элементы САПР электрической части АЭС на персональных компьютерах / А.К. Черновец. – СПб.: Санкт-Петербург. гос. ун-т, 1992. -89 с.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. редактор А.И. Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

УДК 621.311

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Веракса Р.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новиков С.О.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. При работе происходит искрение щеток, под воздействием электроэрозии изнашивается коллектор. Такой электродвигатель не может использоваться в запыленной и взрывоопасной среде.

Асинхронные электродвигатели превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надежны, так как не имеют подвижных контактов. Они имеют меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности. Асинхронные двигатели просты в изготовлении и эксплуатации.

Основной недостаток асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток).

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты.

Применение первых четырех устройств не обеспечивает высокого качества регулирования скорости, неэкономично, требует больших затрат при монтаже и эксплуатации.

Статические преобразователи частоты являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время.

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения. Если это насос или вентилятор – можно поддерживать давление или регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространенным способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

Перспективность частотного регулирования наглядно видна из рисунка 1

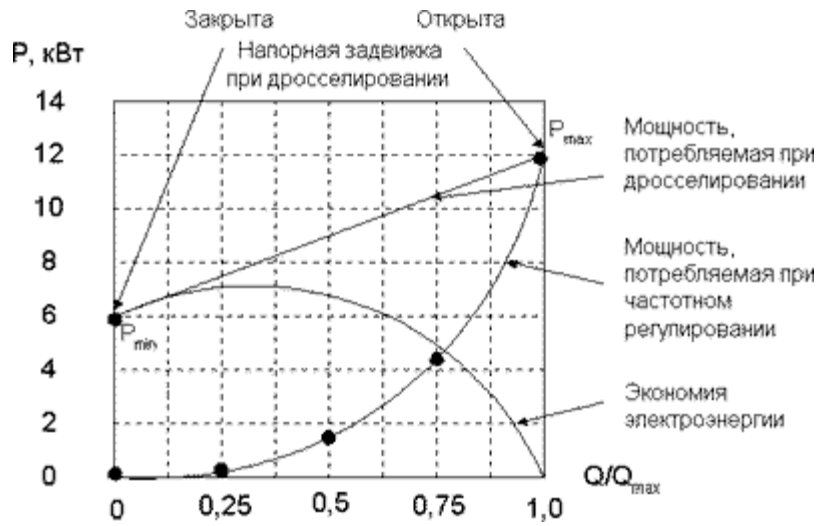


Рис. 1 – Диаграмма частотного регулирования

Таким образом, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса или вентилятора позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества.

Преобразователь частоты состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя В, автономного инвертора, системы управления ШИМ, системы автоматического регулирования, дросселя L_b и конденсатора фильтра C_b (рис.2). Регулирование выходной частоты $f_{вых}$ и напряжения $U_{вых}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления.

Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи.

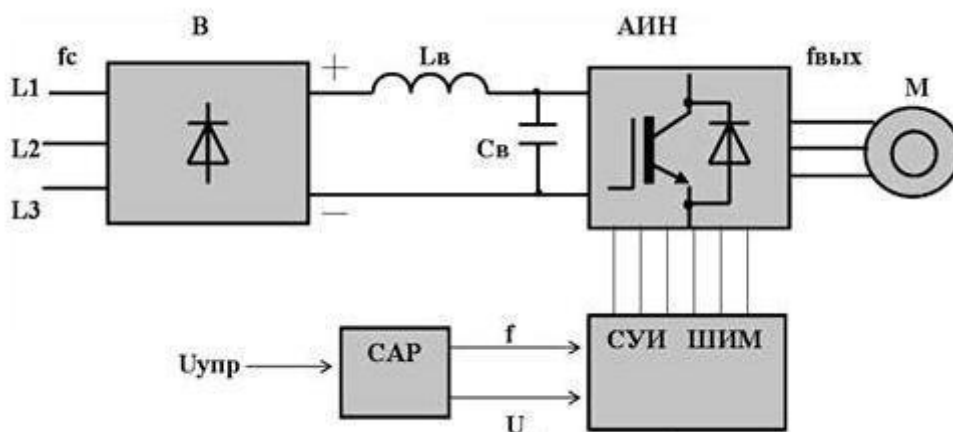


Рис 2. – Схема автоматического регулирования

Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высокочастотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов (рис. 3). Частота импульсов определяется частотой ШИМ, длительность (ширина) импульсов в течение периода выходной частоты АИН промодулирована по синусоидальному закону.

Форма кривой выходного тока (тока в обмотках асинхронного электродвигателя) практически синусоидальна.

Регулирование выходного напряжения инвертора можно осуществить двумя способами: амплитудным (АР) за счет изменения входного напряжения $U_{в}$ и широтно-импульсным (ШИМ) за счет изменения программы переключения вентилях V1-V6 при $U_{в} = \text{const}$.

Второй способ получил распространение в современных преобразователях частоты благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры, IGBT-транзисторы). При широтно-импульсной модуляции форма токов в обмотках статора асинхронного двигателя получается близкой к синусоидальной благодаря фильтрующим свойствам самих обмоток.

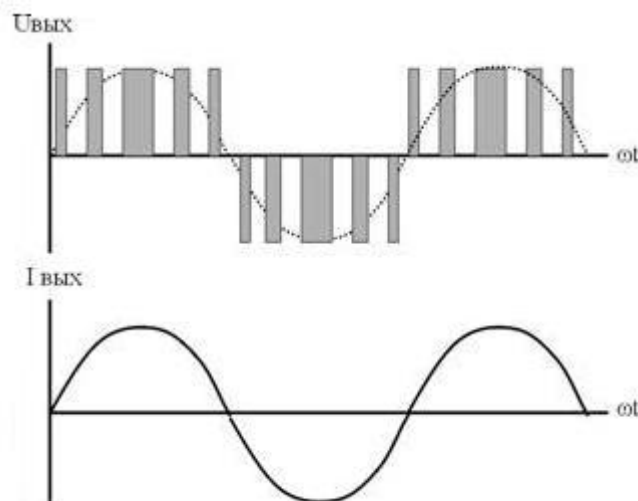


Рис 3. – Широтно-импульсная модуляция

Такое управление позволяет получить высокий КПД преобразователя и эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

Вывод

Таким образом, использование частотного привода позволит сэкономить существенный объем средств, т.к. несмотря на кажущуюся значительную стоимость современных преобразователей, окупаемость вложенных средств за счет экономии энергоресурсов и других составляющих эффективности не превышает в среднем 1,5 лет. Это вполне реальные сроки, а учитывая многолетний ресурс подобной техники, можно подсчитать ожидаемую экономию на длительный период и принять правильное решение.

Самая привлекательная особенность этого оборудования заключается в том, что оно представляет из себя один из наиболее выгодных объектов для инвестирования средств предприятия - инвестируя средства в преобразователи частоты для своего производства, предприятие гарантированно возвращает эти средства за период срока окупаемости, а в последующие 15-20 лет предприятие просто получает чистую прибыль.

Литература

1. <http://www.technowell.ru/economy-electricity/>
2. <http://www.technowell.ru/main-about-invertor/>
3. <http://interelectric.by/projects/353244910fb29b212.php>
4. <http://www.vec-tech.by/stati/~shownews/chastotnik>

УДК 621.311

СОВРЕМЕННЫЕ СВЕТОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ

Дроздрвская Е.В.

Научный руководитель- к.т.н., доцент Новиков С.О.

С момента начала использования электричества для освещения процесс модернизации приборов, используемых в качестве светильников, только набирает обороты. В его начале упор делался на яркость и естественность освещения, теперь же на переднем плане - экономичность и эффективность.

За последние несколько лет в наших домах и квартирах резко увеличилось количество приборов, потребляющих электроэнергию, а вот мощность сетей и количество производимой энергии остались приблизительно на том же уровне. Поэтому остро стал вопрос именно экономии электроэнергии: промышленность выпускает бытовую технику со сниженным энергопотреблением, постоянно звучат призывы выключать ненужные приборы и, конечно, вплотную изучается проблема экономичного освещения.

Сегодня на рынке светотехники предлагаются осветительные приборы на любой вкус. Приобрести можно лампы самых разных характеристик и назначений. И, конечно, как у любого товара, у каждого вида ламп свои плюсы и минусы. Предлагаю рассмотреть 3 вида источников света: лампа накаливания, люминесцентная и светодиодная лампы.

Лампа накаливания – источник света, который излучает световой поток в результате накала проводника из тугоплавкого металла. В качестве нити накала используется тугоплавкий металл – вольфрам, а также его сплавы. Нить накала помещена в стеклянный сосуд, наполненный инертным газом (криптоном, азотом, аргоном). Инертный газ служит защитой нити накаливания, которая без его присутствия в колбе мгновенно превратилась бы в оксид. Для ламп накаливания малой мощности (25 ватт) применяют вакуумные сосуды, которые не заполняются инертным газом. Следовательно, стеклянная колба препятствует негативному воздействию атмосферного воздуха на вольфрамовую нить.

Принцип действия лампы накаливания основан на явлении нагрева проводника при прохождении через него электрического тока. Вольфрамовая нить накала при подключении к источнику тока раскаляется до высокой температуры, в результате чего излучает свет. Световой поток, излучаемый нитью накала, близок к естественному, дневному свету, поэтому не вызывает дискомфорта при длительном использовании.

Из достоинств ламп накаливания можно выделить следующее:

- относительно невысокая стоимость;
- мгновенное зажигание при включении;
- небольшие габаритные размеры;
- широкий диапазон мощностей.

Один из недостатков ламп накаливания - большая яркость самой лампы, что негативно воздействует на зрение при взгляде на лампу. Но этот недостаток можно быстро устранить - достаточно применить рассеиватель.

Существенный недостаток - небольшой срок службы лампы - до 1000 часов. Исходя из опыта использования ламп, можно отметить, что в большинстве случаев лампа накаливания выходит из строя, не прослужив и нескольких сотен часов. Бывают и исключения - лампы работают несколько десятков лет! К сожалению это лишь единичные случаи. Относительно срока службы, как энергосберегающие лампы, так и светодиодные лампы выигрывают.

Если учесть тот факт, что характеристики питающей сети не соответствуют номинальным - срок службы ламп существенно снижается независимо от их типа. Делать выводы о целесообразности использования того или иного типа ламп можно только на основании личного опыта.

Основным недостатком ламп накаливания является низкий коэффициент полезного действия. Только лишь десятая часть потребляемой лампой электрической энергии

преобразуется в видимый световой поток; большинство электрической энергии преобразуется в тепловую энергию.

Люминесцентные лампы — это газоразрядные лампы низкого давления, в которых возникающее в результате газового разряда невидимое для человеческого глаза ультрафиолетовое излучение преобразуется люминофорным покрытием в видимый свет.

Люминесцентная лампа представляет собой стеклянную герметически закрытую трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Из трубки удален воздух и в нее введены небольшое количество газа (аргона) и дозированная капля ртути.

Внутри трубки на ее концах, в стеклянных ножках, укреплены биспиральные электроды из вольфрама, соединенные с двухштырьковыми цоколями, служащими для присоединения лампы к электрической сети посредством специальных патронов. При подаче электрического тока к лампе между электродами возникает электрический разряд в парах ртути, в результате электролюминесценции паров лампа излучает свет.

И если раньше люминесцентные лампы выглядели в основном как длинные белые трубочки различной длины, то теперь повсеместно встречаются люминесцентные лампы с обычными цоколями для использования в стандартных светильниках и люстрах. Это так называемые энергосберегающие лампы, приобретающие все более широкое использование наряду с галогенными лампами и светодиодными светильниками.

Основным преимуществом люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются:

- более высокий коэффициент полезного действия (15 - 20%);
- высокая световая отдача и в несколько раз больший срок службы лампы (при затрате той же мощности достигается значительно большая освещенность по сравнению с лампами накаливания);
- правильный выбор ламп по цветности может создать освещение, близкое к естественному;
- благоприятные спектры излучения, обеспечивающие высокое качество цветопередачи;
- люминесцентные лампы значительно менее чувствительны к повышению напряжения, поэтому их экономично применять на лестничных клетках и в помещениях, освещаемых ночью, когда в сети напряжение повышено (очень чувствительные к повышению напряжения лампы накаливания быстро перегорают);
- малая себестоимость;
- низкая яркость поверхности и ее низкая температура (до 50 °С).

Основными недостатками люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются:

- сложность схемы включения;
- ограниченная единичная мощность (до 150 Вт);
- зависимость от температуры окружающей среды (при снижении температуры лампы могут гаснуть или не зажигаться);
- значительное снижение светового потока к концу срока службы;
- вредные для зрения пульсации светового потока;
- акустические помехи и повышенная шумность работы;
- при снижении напряжения в сети более чем на 10% от номинального значения лампа не зажигается;
- дополнительные потери энергии в пускорегулирующей аппаратуре, достигающие 25 - 35% мощности ламп;
- наличие радиопомех;
- лампы содержат вредные для здоровья вещества, поэтому, вышедшие из строя, газоразрядные лампы требуют тщательной утилизации.

Светодиодные лампы – это практически обычная на вид лампа с множеством в ней светодиодов, а также полупроводниковым кристаллом на подложке и оптической системы. Светодиод – это прибор полупроводниковый, который искажает электрическое напряжение в свет. От химического состава полупроводника зависит спектральный диапазон излучаемого света.

Преимущества светодиодных ламп.

1. Низкое энергопотребление по сравнению с обычным освещением. Такой лампе нужно 10 Вт, чтобы осветить помещение равносильно лампе накаливания в 100 Вт.
2. Нет ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовая составляющая обычного освещения может привести к повреждению тканей глаз.
3. В свете производится очень мало тепла, снижая стоимость строительства кондиционирования воздуха.
4. Срок службы лампы очень долгое время, большинство производителей светодиодов оценивает их работу в 40 000—50 000 часов. Если каждый день пользоваться её по 5 часов, то срок службы иссякнет более чем через 10 лет.
5. Они экологически безопасные по сравнению с энергосберегающими лампами, в которых содержится ртуть.
6. Маленький вес, ударопрочные.
7. Мгновенный разогрев, менее чем за 1 сек.

Недостатки светодиодных ламп

1. Главным и весомым минусом этих ламп является их цена, она намного дороже как ламп накаливания, так и энергосберегающих.
2. Некоторые жалуются на то, что у светодиодных ламп неприятный спектр свечения. Тому их использовать в светильниках для чтения книг или другой кропотливой работы неприемлемо. Но ещё нужно учитывать то, что многие, наверное, покупали и использовали старые варианты таких ламп. Сейчас технологии прогрессируют с каждым годом и тому свет новых led ламп становится всё более качественным чем раньше. Купите одну такую, хорошую лампу в специализированном магазине и убедитесь сами, что это правильное решение.
3. Из-за массового использования экономных ламп страдают энергокомпании и государство, всё-таки это их прибыль экономится. Поэтому они частенько поднимают плату за электричество. Но не думаю, что это повод отказаться от таких ламп. Сейчас простые, лампы накаливания приходится заменять раз в 2-4 месяца, так как они часто «вылетают» из-за некачественного производства. А счётчик накручивают в 5-8 раз больше.

Таким образом, я могу сделать вывод, что идеального решения нет. Несмотря на это, я хотела бы посоветовать более осознанно подходить к выбору ламп. Перед тем как отправляться в магазин за лампами, обязательно посчитайте, какая мощность света нужна вашему дому. Формула простая: на каждый квадратный метр требуется 15-20 Вт.

Лучше покупать лампы надежных производителей. Если ваш выбор пал на компактную люминесцентную лампу, то в них также важна форма спирали (U-образная светит больше по сторонам, спиралевидная больше по оси лампы). Со временем такие лампы тускнеют на 20-25%, поэтому их лучше брать с запасом по мощности. Лампочка со сроком службы 12 тыс. часов всего на 30% дороже, чем лампочка со сроком службы 6 тысяч часов. Частые включения разрушительно действуют на лампы. Рекомендуемый интервал между повторным включением - 5-6 минут, включенная лампа должна поработать хотя бы 5-10 минут (так что стоит пользоваться выключателем реже). На долговечность влияет конструкция плафона (есть ли вентиляция для увода тепла). Миниатюризация также негативно сказывается, громоздкие лампы более надежны. Лампа начинает светить на полную только после разогрева (от десятков секунд до нескольких минут). Цветопередача у таких ламп не очень высокая (часть людей чувствует зрительный дискомфорт), хотя и встречаются лампы так называемого полного спектра. В обычных условиях ультрафиолет не представляет

проблемы, но нельзя использовать в настольных светильниках и тех, что находятся очень близко от человека. По возможности использовать дополнительное стекло в светильнике. Содержат ртуть, поэтому важно аккуратно обращаться и изучить последовательность удаления ртути. Ну а если же вам приглянулись хорошие светодиодные лампы, то будьте готовы потратиться. Кроме того, нужно учитывать, что через 3-5 тысяч часов лампа тускнеет на 10-20%. На ресурс очень сильно влияет охлаждение, зато такие лампы прекрасно работают при морозах. Большой ресурс такой лампы не всегда преимущество, если лампа не горит круглосуточно. Светодиодная лампа на 4-5 Вт заменяет лампу накаливания 40 Вт.

Лампы накаливания пока не стоит списывать со счетов. В холодных регионах они помогают обогревать помещения, что является большим плюсом. При повышении напряжения лампы сгорают быстро. Цветопередача отличная. Уровень пульсаций довольно заметный. Излучают огромное количество инфракрасного излучения и небольшое количество ультрафиолета.

Литература

1. Амеликина С.А., Железникова О.Е. Эффективность светодиодного освещения.— Саранск: Издатель Афанасьев В.С., 2014.—200 с.
2. Бондаренко С.И. Электрическое освещение.— Иркутск: ИрГТУ, 2000.—260 с.
3. Данцигер А.С. Электрическая лампочка.— Москва: Гитл, 2006.—150 с.

УДК.621.311

РАСЧЁТ РЕЖИМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗЛОВЫХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Белько А.И.

Научный руководитель - старший преподаватель Мышковец Е.В.

Суть метода состоит в том, что сначала задаются некоторые ориентировочные значения и выводится решение. Затем это решение будет приближаться (уточняться) до тех пор, пока не будет задана требуемая точность решения. Как правило, точность - разность между решениями на двух соседних итерациях. Если все переменные уравнений при сравнении достигли заданной точности, то решение считается достигнутым и дальнейший расчёт прекращается, в противном случае продолжается.

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 = b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 = b_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 = b_3 \end{cases} \quad (1)$$

где a - элементы матрицы A , b - элементы матрицы B , x - элементы искомой матрицы X .

$$A \cdot X = B \quad (2)$$

$$x_1^{(1)} = \frac{1}{a_{11}} \cdot (b_1 - a_{12} \cdot x_2^{(0)} - a_{13} x_3^{(0)})$$

$$x_2^{(1)} = \frac{1}{a_{22}} \cdot (b_2 - a_{21} \cdot x_1^{(0)} - a_{23} x_3^{(0)}) \quad (3)$$

$$x_3^{(1)} = \frac{1}{a_{33}} \cdot (b_3 - a_{31} \cdot x_1^{(0)} - a_{32} x_2^{(0)})$$

$$\varepsilon > \left| x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)} \right|, \quad (4)$$

где ε - заданная точность.

Для расчёта режимов замкнутых электрических сетей используем уравнения узловых напряжений:

$$Y_Y \cdot U_\Delta = -J = -\frac{P}{U} \quad (5)$$

где U_Δ - падение напряжения в узлах, Y_Y - проводимость ветвей

Отсюда:

$$U_Y = U_{By} - U_\Delta \quad (6)$$

$$U_{Ynm} = \frac{1}{Y_{Yii}} \cdot \left(\frac{-S_m}{U_{Yn-1,m}} + U_{By} \cdot \sum_{j=1}^m Y_{Yij} - \sum_{i=1}^m Y_{Yij} \cdot U_{Yni} \right), \quad (7)$$

ГДЕ U_{By} - напряжение в балансирующем узле (БУ), S - мощность в узле, U_y - напряжение в узлах.

Для того, чтобы убедиться в том, что данный метод пригоден для расчётов замкнутых сетей, рассчитаем четыре схемы (рис.1).

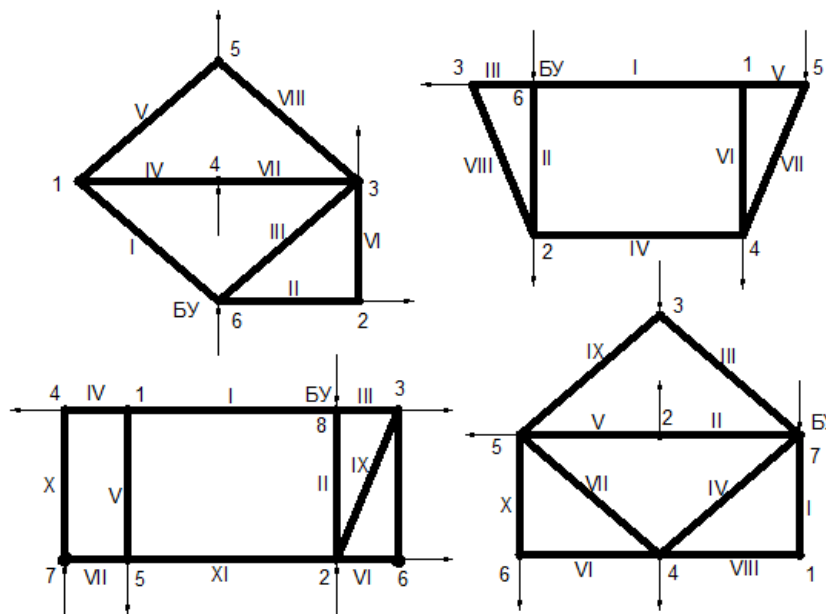


Рис. 1 Варианты схем электрических сетей

Также представлена информация о нагрузках, напряжении в балансирующем узле и длинах линий.

Для расчётов режимов электрических сетей используем программы «RASTR» и «MathCad». С помощью MathCad определим количество итераций, необходимых для достижения точности результата, а по программе RASTR сравним полученные результаты с его расчётом режима.

Для расчёта напряжения в узлах можно использовать программу, с помощью которой будет автоматически определено количество итераций и при этом будут отображены все промежуточные и итоговый результаты (рис 2)

$$\begin{array}{l}
 U_{y1} := \left| \begin{array}{l}
 U^{(1)} \leftarrow U_{bu0} \\
 U_{\Delta}^{(1)} \leftarrow U_{y0} \\
 \text{for } k \in 2..200 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 U_y \leftarrow U_{\Delta}^{(k-1)} + U_{bu} \\
 U_{\Delta}^{(k)} \leftarrow \alpha \cdot U_{\Delta}^{(k-1)} + \text{diag}(U_y)^{-1} \cdot \beta \\
 U^{(k)} \leftarrow U_{\Delta}^{(k)} + U_{bu} \\
 \text{for } i \in 1..5 \\
 \quad \varepsilon_i \leftarrow \left| \left(U^{(k)} \right)_i - \left(U^{(k-1)} \right)_i \right| \\
 \text{break if } \max(\varepsilon) < 0.01 \\
 \text{return } U
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \right.
 \end{array}$$

$$\text{где: } \alpha := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } i \in 1..5 \\
 \quad \text{for } j \in 1..5 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \alpha_{i,j} \leftarrow -\frac{Y_{y,i,j}}{Y_{y,i,i}} \text{ if } i \neq j \\
 \alpha_{i,j} \leftarrow 0 \text{ if } i = j
 \end{array} \right. \\
 \text{return } \alpha
 \end{array} \right.$$

$$\beta := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } i \in 1..5 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \beta_i \leftarrow \frac{(-P)_i}{Y_{y,i,i}} \\
 \text{return } \beta
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Рис. 2 Алгоритм программы расчёта

При изменении параметров системы количество итераций, необходимых для достижения необходимой точности решения может менять как в ту, так и в другую сторону. Проанализируем влияние этих параметров на примере схемы №1.

1) Изменение мощности нагрузок и генерации

В этом случае будем постепенно увеличивать мощность с помощью коэффициента утяжеления, который показывает, во сколько раз мощность превышает номинальное значение. Для данной схемы при мощности, превышающей номинальную в 6,2 раза режим расходится. При этом необходимо отметить, что, если мощность нагрузки будет расти, а мощность генераторов останется постоянной, режим разойдётся гораздо быстрее.

2) Изменение $U_{БУ}$

Для этого будем снижать напряжение в БУ ступенями по 0,1 от номинального напряжения, т.е. 110, 100, 90 и т.д. Расчёт показал, что режим расходится при напряжении в БУ, равный 43% от номинального напряжения сети.

3) Изменение Y_y

Для этого будем уменьшать значения узловых проводимостей. В этом случае сопротивления будут увеличиваться, т.к. проводимость обратно пропорциональна сопротивлению. Расчёт показал, что режим разошёлся при $Y_y=0.16Y_y$ или, по-другому говоря, при увеличении сопротивления в 6,25 раз.

Преимуществами метода простой итерации являются простота этого метода, возможность получения достаточно точного результата, а также возможность программировать в любой программе для расчёта режимов. Однако большое количество итераций, необходимое для получения точных результатов ограничивает применение этого метода. К тому же, при расчёте режимов необходимо учитывать влияние отдельных параметров системы на сходимость итерационного процесса.

Литература

1. Шиманская Т. А. Методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». – Мн.: БНТУ, 2010.
2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычёв П.В. Электрические системы и сети – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.

УДК 621.311

ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

Дерюга В.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

Выбор режима заземления нейтрали в сети напряжением 6-35 кВ является исключительно важным вопросом при проектировании и эксплуатации. Режим заземления нейтрали в сети напряжением 6-35 кВ определяет: ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании; схему построения релейной защиты; выбор ограничителей перенапряжений для защиты от перенапряжений; бесперебойность электроснабжения; безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

Таким образом, очевидно, что режим заземления нейтрали в сети напряжением 6-35 кВ влияет на значительное число технических решений, которые реализуются в конкретной сети.

В сетях среднего напряжения (с номинальным напряжением до 69 кВ по зарубежной классификации) применяются четыре режима заземления нейтрали:

- изолированная (незаземленная);
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный);
- глухозаземленная.

Кроме указанных четырех режимов заземления нейтрали в мире применяется также комбинация (параллельное включение) дугогасящего реактора и резистора.

На сегодняшний день применяются три варианта заземления нейтрали сетей напряжением 6-35 кВ через резистор: низкоомное, высокоомное и комбинированное.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда однофазное замыкание на землю должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали целесообразно применять в случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме однофазного замыкания на землю до обнаружения места однофазного замыкания. При этом ток в нейтрали должен быть такой величины, чтобы исключить появление опасных дуговых перенапряжений и снижение электробезопасности, но быть достаточным для определения поврежденного присоединения и работы релейной защиты на сигнал.

Комбинированное заземление нейтрали осуществляется путем присоединения высокоомного резистора параллельно дугогасящему реактору и позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке дугогасящего реактора, а также способствует работе на сигнал релейных защит.

В сетях напряжением 6-35 кВ обычно используются трансформаторы со схемой соединения обмоток "Y /Δ". Для определения токов замыкания на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали примем две схемы включения резистора (рисунок 1.1): между нулевой точкой обмотки высокого напряжения трансформатора и контуром заземления (рисунок 1.1а) и во вторичную обмотку трансформатора (в разомкнутый треугольник) (рисунок 1.1б).

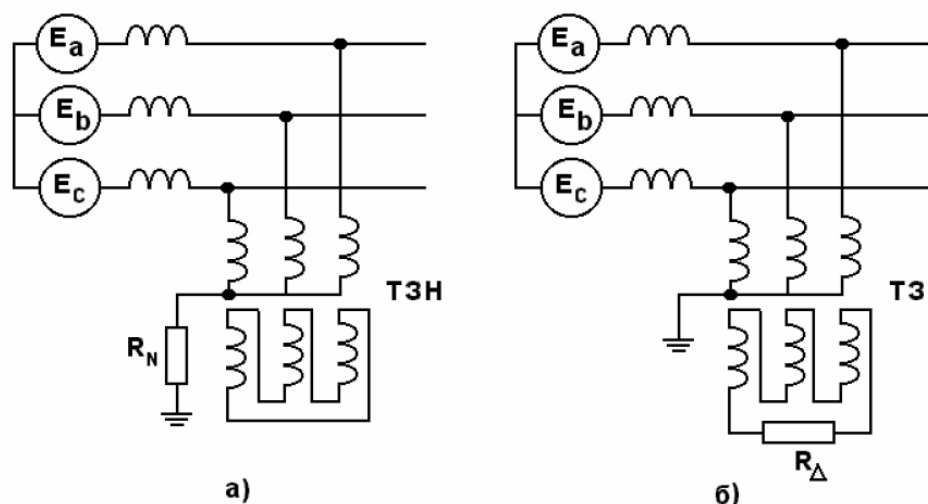


Рисунок 1.1 - Схемы подключения резистора к нейтрали сети

Выбор типа резистора для заземления нейтрали производится по трем основным критериям:

- резистор должен обеспечивать снижение уровня дуговых перенапряжений;
- сопротивление резистора в нейтрали должно гарантировать протекание активного тока в поврежденном присоединении, достаточного для действия релейных защит на сигнал или на отключение поврежденного присоединения;
- при заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при однофазных замыканиях на землю на подстанциях и распределительных пунктах с учетом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения.

Основной параметр резистора – его активное сопротивление R_N , величина которого выбирается по критерию снижения уровня перенапряжений и затем может корректироваться по условиям работы релейной защиты и условию электробезопасности.

При резистивном заземлении нейтрали ограничение перенапряжений при дуговых замыканиях осуществляется за счет обеспечения стекания заряда нулевой последовательности за время $t = 0,01$ с и снижения напряжения на нейтрали до значений, исключающих последующие пробои ослабленной изоляции аварийной фазы. Одновременно с этим заземляющие резисторы эффективно подавляют всевозможные резонансные и феррорезонансные перенапряжения. Они способствуют ликвидации сверхтоков, обусловленных насыщением магнитопроводов измерительных трансформаторов и трансформаторов контроля изоляции и исключают, тем самым, термическое разрушение их обмоток и повышают надежность и селективность работы простейших защит от однофазных замыканий на землю. Важной особенностью применения высокоомного резистивного заземления нейтрали является то, что при снижении ёмкости сети постоянная времени стекания заряда нулевой последовательности через выбранный резистор уменьшится, и, следовательно, стекание заряда будет проходить еще быстрее.

Многу были проведены исследования стоимости переоборудования сети на режим изолированной, компенсированной или резистивной нейтрали. Исследования показали, что первоначальные капитальные затраты самые большие при устройстве компенсированной нейтрали, однако годовые эксплуатационные расходы и приведенные затраты оказались самыми низкими, для той же компенсированной нейтрали, за счет низкого показателя удельной повреждаемости кабельных линий напряжением 10 кВ на 100 километров. Далее многу были проведены дополнительные исследования с использованием метода многоцелевой оптимизации. Задача была сформулирована следующим образом: при минимуме капитальных затрат K , максимуме срока службы изоляции t и максимуме электробезопасности сети B_* , необходимо выбрать целесообразный режим нейтрали.

Результаты полученных исследований по методу многоцелевой оптимизации сведены в таблицы 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 - Значения относительной эффективности целей

Цель	K_*, t_*, B_* для нейтрали			e_i для нейтрали		
	изолир.	компенсир.	резистивной	изолир.	компенсир.	резистивной
$\min K$	1,00	3,00	1,50	1,00	0,33	0,67
		4,00	2,50	1,00	0,25	0,40
		5,00	3,00	1,00	0,20	0,33
		6,00	4,00	1,00	0,17	0,25
$\max B$	1,00	1,00	1,25	0,80	1,00	1,00
			5,00	0,20	0,20	1,00
$\max t$	1,00	1,50	2,00	0,50	0,75	1,00

Таблица 1.2 - Значение критерия оптимизации E для сети с кабельными линиями

Значение показателей для заземленной через резистор нейтрали			Значения критерия оптимизации		
K_{*j}	t_{*j}	B_{*j}	изолированная нейтраль	компенсированная нейтраль	резистивная нейтраль
1,50	2,00	1,25	0,74	0,54	0,86
2,50			0,74	0,46	0,67
3,00			0,74	0,39	0,59
4,00			0,74	0,35	0,49
1,50	2,00	5,00	0,38	0,29	0,86
2,50			0,38	0,26	0,67
3,00			0,38	0,25	0,59
4,00			0,38	0,23	0,49

Из данных таблиц 1.1 и 1.2 видно, что капитальные затраты на перевод сети на режим заземленной через резистор нейтрали не должны превышать более чем в 1,5 раза капитальные затраты на создание изолированной нейтрали. При этом срок службы изоляции увеличивается в 2 раза, а электробезопасность повышается в 1,25 раза.

Однако, при повышении электробезопасности в 5 раз, критерий капитальных затрат на перевод сети с изолированной нейтрали на режим резистивного заземления нейтрали не является определяющим для сетей с кабельными линиями электропередачи.

По всем показателям создание компенсированной нейтрали нецелесообразно в виду высоких капитальных затрат. При этом срок службы изоляции увеличивается в 1,5 раза, а электробезопасность остается на том же уровне, что и при изолированной нейтрали.

Основываясь на изложенном выше, можно сделать вывод о том, что в сетях напряжением 6-35 кВ наиболее благоприятными с точки зрения эксплуатации является режим заземления нейтрали через резистор (высокоомный или низкоомный). Режим изолированной нейтрали должен быть полностью исключен из практики эксплуатации.

Литература

1. Дипломный проект на тему "Заземление нейтрали электрической сети напряжением 6-10 кВ через резистор". Исполнитель: студент группы 106221 Дерюга В.С., 2016.
2. Короткевич, М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А – Короткевич. – Минск: ЗАО "Техноперспектива", 2003.
3. Короткевич, М.А. Эксплуатация электрических сетей / М.А – Короткевич. – Минск: Высшая школа, 2014.

4. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / под ред. Ф.Х. Халилова, Г.А. Евдокунина, А.И. Таджибаева. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 2002.

УДК 621.311

ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В МИНИМАЛЬНЫЕ ЧАСЫ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Бондарева А.С.

Научный руководитель – ассистент Юршо Е.Л.

Энергетика - одна из основных отраслей национальной экономики Республики Беларусь. Ее развитие определяется стратегией государства и рядом программ, обеспечивающих значительную государственную поддержку достижению установленных приоритетов.

Органом государственного управления, формирующим и реализующим энергетическую политику страны, является Министерство энергетики Республики Беларусь.

Среди основных задач министерства - проведение научно-технической, экономической и социальной деятельности, направленной на создание условий для эффективной работы подведомственных организаций в целях удовлетворения потребности народного хозяйства и населения в электрической и тепловой энергии, природном и сжиженном газе, твердых видах топлива, а также их рационального и безопасного использования.



Рисунок 1 – Схема основной электрической сети Беларуси

Оперативное управление энергосистемы (рис. 1) осуществляет РУП ОДУ, в составе которого много служб. Они обеспечивают устойчивость и экономичную работу энергосистемы Беларуси посредством непрерывного оперативно-диспетчерского управления технологическими процессами работы Белорусской энергосистемы. Белорусская энергетическая система - это сложный комплекс, включающий электростанции, котельные, электрические и тепловые сети, которые связаны общностью режима работы на территории всей республики.

ПС Белорусская 750-330-110 кВ, это ключевая, узловая подстанция энергосистемы, которая принимает наибольший объем электроэнергии от России

и участвует в распределении потоков энергии в энергосистеме. Не менее важная и сложная подстанция 330/220/110 кВ - это ПС Мирадино, под Бобруйском, она недавно претерпела реконструкцию.

В этом же регионе размещается и самый крупный "возмутитель спокойствия энергосистемы" - Белорусский Металлургический Завод, который своими сталеплавильными печами создает резкие набросы нагрузки (50-90 МВт одновременно), но "вывести из равновесия" энергосистему ему не под силу.

Проблема соблюдения баланса электроэнергии и мощности

Электроэнергия обладает основной отличительной особенностью по сравнению с другими видами товаров и услуг. 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.

В последнее время в связи с ростом потребления электроэнергии в Белорусской энергосистеме и снижением экспортных возможностей соседних энергосистем остро встал вопрос обеспечения баланса мощностей в часы максимальных нагрузок, особенно при отсутствии импорта электроэнергии (рис. 2).

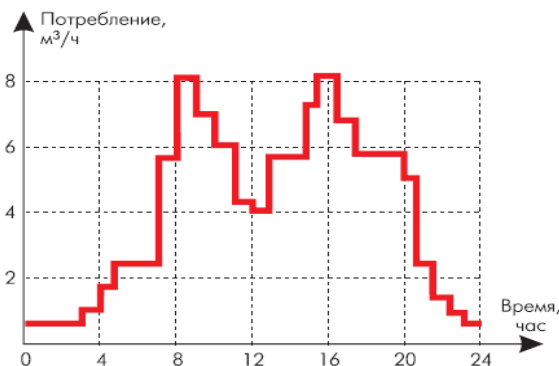


Рисунок 2 – Упрощенный график распределения нагрузок в энергосистеме

Несмотря на значительное превышение установленной мощности электростанций Белорусской энергосистемы (7 882 МВт включая потребительские блок-станции) над зарегистрированным в 2006 г. максимумом нагрузок (6 300 МВт), осуществление нормальной работы энергосистемы без импорта электроэнергии в настоящее время затруднено.

Во-первых, это связано с различного рода ограничениями, вследствие которых не вся установленная мощность электростанций доступна для выработки электроэнергии. Основными причинами указанных ограничений являются:

- недостаточная производительность градиен (до 845 МВт в летний период);
- недостаток теплового потребления на турбинах типа «Р» (до 223 МВт в летний период);
- перевод турбоагрегатов на работу в режиме «ухудшенного вакуума» (до 30 МВт).

Кроме того, часть оборудования электростанций энергосистемы не может быть включена по каким-либо иным причинам: законсервирована или находится «вне резерва» (например, турбоагрегат ПТ-135-130 ст. № 8 на Новополоцкой ТЭЦ и др.).

Суммарные ограничения мощности электростанций Белорусской энергосистемы в отопительный период составляют порядка 400 МВт (5 % от установленной мощности энергосистемы), в межотопительный период – порядка 1 500 МВт (19 % от установленной мощности энергосистемы). Таким образом, реальная располагаемая мощность ОЭС Беларуси находится в пределах от 7 484 до 6 380 МВт в летний период.

Во-вторых, для обеспечения надежной работы энергосистемы и продления срока эксплуатации на оборудовании электростанций выполняются планово-предупредительные ремонты с периодичностью, регламентированной нормативными документами.

Снижение мощности вследствие ремонтной кампании за последние годы составляло порядка 1 ГВт в течение всего года. При этом в летний период ремонтируется, как правило, оборудование ТЭЦ, в зимний период – оборудование конденсационных электростанций.

В-третьих, для обеспечения оптимальной надежности энергоснабжения потребителей в случае непрогнозируемого роста электропотребления или аварийного отключения наиболее крупной генерирующей единицы (300–320 МВт) на электростанциях постоянно имеется резерв мощности. Наиболее важное требование к этому резерву – возможность его использования за время не более 15 минут. В связи с отсутствием в энергосистеме

высокоманевренного оборудования, способного в течение 15 минут из отключенного состояния набрать нагрузку, резерв мощности находится на включенном оборудовании – так называемый горячий резерв мощности.

Кроме того, в случае аварийного отключения какого-либо из крупных энергоблоков 250–320 МВт, которых в Белорусской энергосистеме насчитывается 12 единиц, для дальнейшей бесперебойной работы необходимо наличие так называемого холодного резерва мощности, размещенного на оборудовании, готовом к включению за время до 12 часов.

По вопросу импорта электроэнергии необходимо отметить следующее. Имеющиеся линии электропередачи, связывающие Белорусскую энергосистему с энергосистемами сопредельных государств, позволяют импортировать электроэнергию из России, Литвы и Украины. При этом после закрытия второго энергоблока Игналинской АЭС избытков электроэнергии в Литве нет. В энергосистемах России и Украины в связи со значительным ростом электропотребления возможности экспорта электроэнергии постоянно уменьшаются.

Так, в 2006 г. рост потребления электроэнергии в России составил 4,2 %. В связи с этим РАО «ЕЭС России» отмечен резкий рост потребности в новых генерирующих мощностях и пересмотрена инвестиционная программа на последующие годы. Однако эта программа, даже если она будет выполнена, направлена прежде всего на обеспечение надежного покрытия собственного потребления. С учетом этого, а также в связи с отсутствием планов по вводу значительных генерирующих мощностей в ОЭС Северо-Запада России объем поставок на долгосрочную перспективу не определен.

В энергосистеме Украины сегодня наблюдается дефицит вырабатываемой электроэнергии. Соответственно, сегодня Украину нельзя рассматривать в качестве гарантированного поставщика электроэнергии. Кроме того, с учетом снижения экспортного потенциала Болгарии за счет вывода из эксплуатации двух атомных энергоблоков украинская электроэнергия в перспективе будет востребована в центрально- и западноевропейских странах, прежде всего в Венгрии и Словакии.

Энергосистема Польши в настоящее время является избыточной, однако техническая возможность импорта электроэнергии из Польши отсутствует.

Второй проблемой обеспечения баланса мощностей Белорусской энергосистемы является прохождение ночных минимумов нагрузок в отопительный период. Это связано с тем, что в структуре генерации отопительного периода большую долю составляют ТЭЦ, выработка электроэнергии которых зависит от температуры наружного воздуха и в течение суток изменяется незначительно.

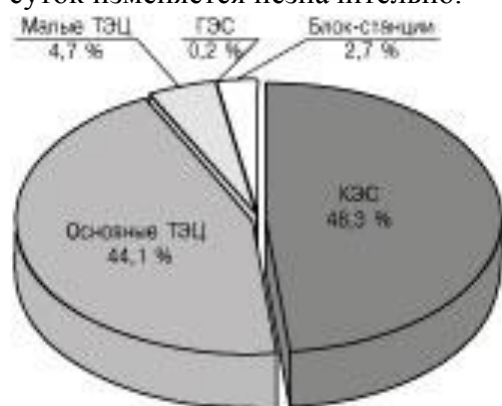


Рисунок 3 - Структура генерирующих мощностей ОЭС Беларуси

При этом график суточного электропотребления имеет коэффициент неравномерности (отношение минимального электропотребления к максимальному) порядка 0,64, т. е. если в часы максимума потребление составляет порядка 6 200 МВт, то в часы минимальных нагрузок оно составит 3 970 МВт. Разница, на которую должны разгрузиться электростанции, – 2 230 МВт.

При этом, согласно условиям поставщиков электроэнергии, коэффициент неравномерности суточного графика импортируемой электроэнергии составляет от 0,75 до 1 (в зависимости от поставщика).

То есть, если максимальная мощность поставки составляет 250 МВт, минимальная мощность должна составлять 185 МВт, разница – всего 65 МВт.

Регулирующая способность конденсационных электростанций зависит от числа включенных блоков. Реальными шагами для улучшения ситуации с ночной разгрузкой ТЭЦ (рис. 3), регулирования режима работы энергосистемы, обеспечения высокоманевренного резерва мощности может быть следующее:

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. 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.

3. 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.

4. Перевод всех потребителей на дифференцированный по зонам суток тариф на электроэнергию.

5. Применение электродвигателей для выработки тепловой энергии в ночные часы отопительного периода.

6. Применение на ТЭЦ баков-аккумуляторов, позволяющих накопить тепловую энергию в дневные и пиковые часы и снизить вынужденную величину разгрузки из-за снижения теплового графика ТЭЦ.

7. Создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности (ЦАРЧМ). Этот регулятор позволит обеспечить автоматическое регулирование генерации электростанций и минимизировать отклонения балансов электроэнергии и мощности.

В перспективе до 2018 г. в Белорусской энергосистеме планируется соорудить атомную электростанцию с первым энергоблоком мощностью 1 ГВт. Энергоблоки АЭС, как правило, не допускают ежесуточной разгрузки, в результате чего проблема с прохождением ночных минимумов нагрузок отопительного периода еще более обострится. Кроме того, в энергосистеме необходимо будет повысить величину вращающегося резерва до 1 ГВт. С учетом перспектив модернизации основных фондов электроэнергетики к этому году суточное регулирование режима работы энергосистемы только за счет конденсационных электростанций будет неосуществимо.

Заключение

Энергосистема Беларуси находится на пороге существенных перемен: уже подготовлены предложения по реструктуризации и по демонополизации отрасли, есть планы по переходу от перекрестного субсидирования к более справедливой и прозрачной тарифной политике в отношении всех потребителей. В настоящее время в отрасли активно ведется модернизация и строительство крупных энергетических объектов, самый значимый из которых - БелАЭС, решаются вопросы энергосбережения, повышения энергоэффективности, увеличения количества источников на местных и возобновляемых видах топлива, внедряются экологически чистые технологии.

Литература

1. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. и др. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Дрьомин В.П., Костенко Г.П., Згуровец О.В. Анализ расходов топлива блоками ТЭС и возможностей их экономии при регулировании электропотребления (на укр. яз.) // Проблемы общей энергетики. – 2008. – №17.
3. Михайлов В.В., Поляков М.А. Потребление электрической энергии – надежность и режимы. – М.: Высшая школа, 1989.

УДК 631.371

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ НА ПРИМЕРЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В БЕЛАРУСИ

Рыжков Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новиков С.О.

Сегодня энергетика мира базируется на невозобновляемых источниках энергии. В качестве главных энергоносителей выступают нефть, газ и уголь. Ближайшие перспективы развития энергетики связаны с поисками лучшего соотношения энергоносителей. Большие надежды в мире возлагаются на альтернативные источники энергии, преимущество которых заключается в их возобновимости и в том, что это экологически чистые источники энергии, к которым относится солнечная энергия.

Территория нашей страны расположена между 56-м и 51-м градусами северной широты, что определяет угол падения солнечных лучей, продолжительность дня и солнечного сияния, с чем связано количество поступающей солнечной радиации. В течение года угол падения солнечных лучей в полдень изменяется на 47° , продолжительность дня — более чем на 10 часов. Годовой приход суммарной солнечной радиации увеличивается от северных к южным районам — от 3500 до 4050 МДж/м² (84—97 ккал/см²).

Беларусь ежегодно получает в общем 1000-1150 кВт/м², что составляет около половины радиационного баланса Южной Европы и Ближнего Востока и превышает показатель Северной Европы, который равен 800 кВт/м².

Эти измерения применяются к солнечному излучению, падающему на горизонтальную поверхность. Для применения солнечных технологий уместней будет рассмотреть, какое количество излучения поступает на поверхность под оптимальным углом наклона, так как солнечные коллекторы и фотоэлектрические панели устанавливаются под углом к Солнцу. На таких поверхностях солнечный ресурс увеличивается до 1350 кВт/м², изменяясь между западной и восточной частями страны.

В настоящее время использование солнечной энергии минимально. На 2007 год выработка электроэнергии с использованием солнечной энергии в Беларуси не проводилась.

Наиболее перспективным в ближайшее время направлением использования солнечной энергии является подогрев воды в системах отопления и горячего водоснабжения.

Значительный потенциал энергосбережения в данной области связан с тем, что на нужды теплоснабжения сегодня приходится около половины от всего объема потребления ТЭР в Беларуси. Реализованные в Республике Беларусь проекты по применению гелиоводонагревателей на базе отечественных разработок показывают, что использование солнечных коллекторов эффективно не только в регионах с теплым климатом, но и в районах с низкими температурами и невысокими значениями солнечной радиации. Результаты мониторинга комбинированной системы теплоснабжения дома усадебного типа в ОАО «Александровское» Могилевской области показывают, что современные гелиоколлекторы позволяют полностью обеспечить нужды жильцов усадебного дома в горячей воде на протяжении 7–8 месяцев в году, а в остальное время подогревают воду до 30°C , существенно снижая расход газа. Подсчитано, что гелиосистема экономит до 80% средств, направленных на оплату горячего водоснабжения. В переходный период (весна, осень) гелиосистема полностью обеспечивает отопление дома, что позволяет дополнительно экономить 20–30% газа. В целом экономия в течение 2010–2011 годов составила около 60%. Опыт эксплуатации систем горячего водоснабжения с использованием гелиоколлекторов показывает, что срок службы оборудования составляет до 20 лет без затрат на техническое обслуживание. Применение в гелиосистемах в качестве теплоносителя низкозамерзающей жидкости на основе глицерина – этиленгликоля или пропиленгликоля с присадками, защищающими теплопроводы от коррозии, позволяет эксплуатировать системы круглый год

В 2016 году компания Velcom запустит крупнейшую в Беларуси солнечную электростанцию. Новый проект реализуется вблизи Брагина и может рассматриваться как пример участия частного бизнеса в развитии территорий, пострадавших от чернобыльской катастрофы. Солнечная электростанция начнет работать этим летом в Брагинском районе. Она будет включать 85 тысяч солнечных панелей, которые занимают территорию в 56 га. Мощность электростанции составит рекордные для белорусских гелиоустановок 22,3 МВт. В строительство солнечной электростанции Velcom вложит более 23 млн. евро. Помимо самого солнечного парка, компания инвестирует в строительство высоковольтной линии с 23 опорами и трансформатором на 110 кВ. Компания рассматривает «зеленую» энергетику как долгосрочный проект на перспективном рынке и вклад в сохранение экологии республики. Энергию от станции компания планирует продавать, характеризуя проект как «коммерческий зеленый». Благодаря солнечной энергии Velcom надеется покрыть также 50% собственных потребностей.

Средние цифры срока окупаемости солнечных электростанций для стран Южной Европы составляют 1,5-2 года, для стран Средней Европы – 2,5-3,5 года, а в России срок окупаемости равен примерно 2-5 годам. В ближайшем будущем эффективность солнечных батарей значительно увеличится, связано это с разработкой более совершенных технологий, позволяющих увеличивать КПД и снижать себестоимость панелей. А как следствие уменьшится и срок, в течение которого система энергосбережения на солнечной энергии окупит себя.

Благодаря модульности фотоэлектрических систем, можно производить градацию ФЭ в зависимости от различных способов использования (начиная от систем совсем малых размеров, например, знаки на парковке или дороге, микро-производство для домашних хозяйств и в городской среде, до выработки электроэнергии в необходимом масштабе в несколько сотен или даже тысяч мегаватт).

Свою лепту вносят затраты на проектирование, монтажное оборудование, крепление и т.д. Однако именно на солнечные батареи и инвертор приходится около 80% стоимости станции.

Основным недостатком фотоэлектрических преобразователей на основе кремния на сегодняшний день является невысокий КПД в среднем (до 30%) при относительно высокой стоимости, которая составляет около 3 У.е. за 1 Вт установленной мощности. Однако, учитывая динамику развития отрасли фотоэлектричества, которая удваивается каждые 5 лет, по прогнозам специалистов, следует ожидать снижения стоимости фотоэлектрических преобразователей на 20% каждые 5 лет.

Вместе с тем одна из важнейших проблем использования солнечного излучения в качестве источника энергии связана с его сезонной неравномерностью. По данным многолетних наблюдений метеорологических станций, в Республике Беларусь максимум солнечного излучения приходится на период года с апреля по август (порядка 80% от общего количества). Максимум потребления энергии (в первую очередь тепловой), напротив, приходится на зимние месяцы. Данная проблема может быть решена путем использования сезонного аккумулирования солнечной теплоты. Применяемые аккумуляторы теплоты должны обладать большой емкостью и сохранять тепло продолжительное время (в течение нескольких месяцев). Такие системы успешно разрабатываются и эксплуатируются в США, Германии, Нидерландах, Швеции, Франции и других странах.

Вывод

У ученых и практиков в результате опытно-промышленной эксплуатации ФЭС уже не осталось сомнений, что производить электроэнергию за счет солнца в странах, сравнимых по освещенности с Республикой Беларусь, вполне целесообразно.

Анализ многолетних исследований показывает, что с рядовых ФЭС мощностью 1 кВт почти на 70% территории РБ можно было бы получать более 900 кВт/ч.. На 25% — 975 кВт/ч. На 5% — 1050 кВт/ч. Это означает, что потенциальная эффективность использования ФЭС за счет благоприятных условий инсоляции на 10% выше, чем в Польше, Нидерландах,

и более чем на 17% — чем в ФРГ. Расположение республики, ее географическая широта, высота над уровнем моря, а также метеорологические условия не являются сдерживающими факторами для развития солнечной электроэнергетики.

Несмотря на существующие трудности использования солнечной энергии, отрасль солнечной энергетики в мире бурно развивается. На начало 2010 года суммарная площадь гелиоколлекторов в мире превысила 200 млн.м², в том числе в Германии – 12 млн.м², Польше – 0,4 млн.м², Литве – 5 тыс. м². Для того чтобы заместить 1% используемого топлива в АПК Республики Беларусь, необходимо около 300 тыс.м² гелиоколлекторов. Основными проблемами, препятствующими широкому использованию солнечной энергии, являются ее рассредоточенность на большой территории и сезонная неравномерность.

Солнечная энергетика открывает перед страной широкие перспективы. На юге Беларуси около 1900 солнечных часов в год. Использовать возобновляемые источники энергии в республике выгодно и с коммерческой, и с экологической точки зрения — гелиоустановки позволяют сократить выбросы в атмосферу углекислого газа. Рынок «зеленой» энергии в Беларуси должен получить серьезное развитие в ближайшие годы.

Таким образом, сегодня нет объективных препятствий для развития солнечной энергетики в Беларуси. Проекты в данном направлении обещают скорую окупаемость, являются надежными в плане получения выручки и не требуют сложного обслуживания.

Литература

1. Белорусский портал по возобновляемым источникам энергии © 2012.
2. Белорусский портал “TUT.by.”
3. Европейский атлас солнечного излучения. Том 2: Общее и рассеянное излучение на вертикальные и наклонные поверхности, под редакцией В.Палза, Комиссия Европейского Сообщества (1984).
4. Лебедев В. Журнал «Наука и инновации», 5(63) 2008 .
5. Сайт <http://www.tycoonby/page/solnechnaya-energetika-obschaya-informaciya>.
6. «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

УДК 621.311

ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Чумаченко М.А.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Новиков С.О.

Основными оборудованием электростанции являются разъединители, отделители, короткозамыкатели, ограничители перенапряжений (ОПН), силовые трансформаторы, выключатели, распределительные устройства (РУ).

Силовые трансформаторы

Типы трансформаторов и их параметры

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования электроэнергии переменного тока с одного напряжения на другое. Наибольшее распространение получили трехфазные трансформаторы, так как потери в них на 12—15 % ниже, а расход активных материалов и стоимость на 20 — 25 % меньше, чем в группе трех однофазных трансформаторов такой же суммарной мощности [1].

Предельная единичная мощность трансформаторов ограничивается массой, размерами, условиями транспортировки.

Трехфазные трансформаторы на напряжение 220 кВ изготавливают мощностью до 1000 МВ -А, на 330 кВ — 1250 МВ -А, на 500 кВ — 1000 МВ-А.

Однофазные трансформаторы применяются, если невозможно изготовление трехфазных трансформаторов необходимой мощности или затруднена их транспортировка.

По количеству обмоток различного напряжения на каждую фазу трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные. Кроме того, обмотки одного и того же напряжения, обычно низшего, могут состоять из двух и более параллельных ветвей, изолированных друг от друга и от заземленных частей. Такие трансформаторы называют трансформаторами с расщепленными обмотками. Обмотки высшего, среднего и низшего напряжения принято сокращенно обозначать соответственно ВН, СН, НН.

К основным параметрам трансформатора относятся: номинальные мощность, напряжение, ток; напряжение КЗ; ток холостого хода; потери холостого хода и КЗ.

Номинальные напряжения обмоток — это напряжения первичной и вторичной обмоток при холостом ходе трансформатора. Для трехфазного трансформатора — это его линейное (междуфазное) напряжение. При работе трансформатора под нагрузкой и подведении к зажимам его первичной обмотки номинального напряжения на вторичной обмотке напряжение меньше номинального на величину потери напряжения в трансформаторе. Коэффициент трансформации трансформатора n определяется отношением номинальных напряжений обмоток высшего и низшего напряжений.

В трехобмоточных трансформаторах определяется коэффициент трансформации каждой пары обмоток: ВН и НН; ВН и СН; СН и НН.

Номинальными токами трансформатора называются указанные в заводском паспорте значения токов в обмотках, при которых допускается длительная нормальная работа трансформатора.

Номинальный ток любой обмотки трансформатора определяют по ее номинальной мощности и номинальному напряжению.

Напряжение короткого замыкания u_k — это напряжение, при подведении которого к одной из обмоток трансформатора при замкнутой накоротко другой обмотке в ней проходит ток, равный номинальному.

Схемы и группы соединений обмоток трансформаторов

Обмотки трансформаторов имеют обычно соединения: звезда, звезда с выведенной нейтралью и треугольник.

В трехфазном трансформаторе применением разных способов соединений обмоток можно образовать двенадцать различных групп соединений.

Соединение в звезду обмотки ВН позволяет выполнить внутреннюю изоляцию из расчета фазной ЭДС. Обмотки НН преимущественно соединяются в треугольник, что позволяет уменьшить сечение обмотки.

Технические данные силовых трансформаторов и автотрансформаторов, их схемы и группы соединений определяются действующими ГОСТ и приводятся в каталогах и справочниках.

Каждый трансформатор имеет условное буквенное обозначение, которое содержит следующие данные в том порядке, как указано ниже:

- 1) число фаз (для однофазных — О; для трехфазных — Т);
- 2) вид охлаждения — в соответствии с пояснениями, приведенными выше;
- 3) число обмоток, работающих на различные сети (если оно больше двух), для трехобмоточного трансформатора Т; для трансформатора с расщепленными обмотками Р (после числа фаз);
- 4) буква Н в обозначении при выполнении одной из обмоток с устройством РПН;
- 5) буква А на первом месте для обозначения автотрансформатора.

За буквенным обозначением указывается номинальная мощность, кВ-А; класс напряжения обмотки (ВН); климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150—69 и ГОСТ 15543-70.

Литература

1. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Чиркова. М. : Изд. центр «Академия», 2004

УДК 621.311

ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Станевич Р.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Калентионок Е.В.

В этой статье проведем разъяснение необходимости проведения испытаний трансформаторов на стойкость к токам короткого замыкания. Выясним схему, состав оборудования и рассмотрим метод проведения испытаний, а также выявим пути для усовершенствования проведения опытов на электродинамическую стойкость трансформаторов.

Согласно ГОСТ 11677-85, силовые трансформаторы должны выдерживать внешние короткие замыкания в эксплуатации на любом ответвлении обмотки при любых сочетаниях сторон питания. Поэтому перед вводом в эксплуатацию трансформаторов необходимо провести типовые испытания на стойкость к коротким замыканиям.

Типовые испытания проводят для одного трансформатора из каждой новой серии. Также 1 раз в несколько лет проводят такие испытания для каждого типа силовых трансформаторов.

Суть испытания заключается в том, что на одну из обмоток подают напряжение, а вторую обмотку закорачивают. Если в опыте короткого замыкания значение подводимого напряжения составляет 4-7% от $U_{ном}$ (из паспортных данных), то при испытании на стойкость к КЗ напряжение составляет до 100% от номинального. Токи до 20 раз превышают номинальные. Создаются значительные электродинамические усилия в обмотках и магнитопроводе. Отсюда и названия – электродинамические испытания, электродинамическая стойкость. Трансформатор не прошёл проверку, если после опыта были повреждены элементы трансформатора.

Ключевым параметром опыта на электродинамическую стойкость является испытательный ток короткого замыкания:

$$I_{исп} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}(z_m + z_c)}, \text{ кА}, \quad (1)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение трансформатора, кВ;

z_m - сопротивление трансформатора, приведенное к рассматриваемой обмотке, Ом;

z_c - сопротивление короткого замыкания сети, Ом.

Более мощные трансформаторы имеют меньшее сопротивление, и согласно формуле 1 необходимо более высокое значение испытательного тока. Для трансформаторов мощностью менее 1 МВ·А (менее 3,15 МВ·А, разработанных после 01.01.91) сопротивление короткого замыкания сети не учитывают.

Сопротивление короткого замыкания трансформатора z_m , Ом, определяют по формуле:

$$z_m = \frac{U_{к\%} \cdot U_{ном}^2}{100S_{ном}}, \quad (2)$$

где $U_{к\%}$ - расчетное значение напряжения короткого замыкания ответвления, приведенное к номинальной мощности трансформатора на основном ответвлении, %;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора на основном ответвлении, МВ·А.

При испытаниях допускается принимать измеренное значение сопротивления короткого замыкания трансформатора.

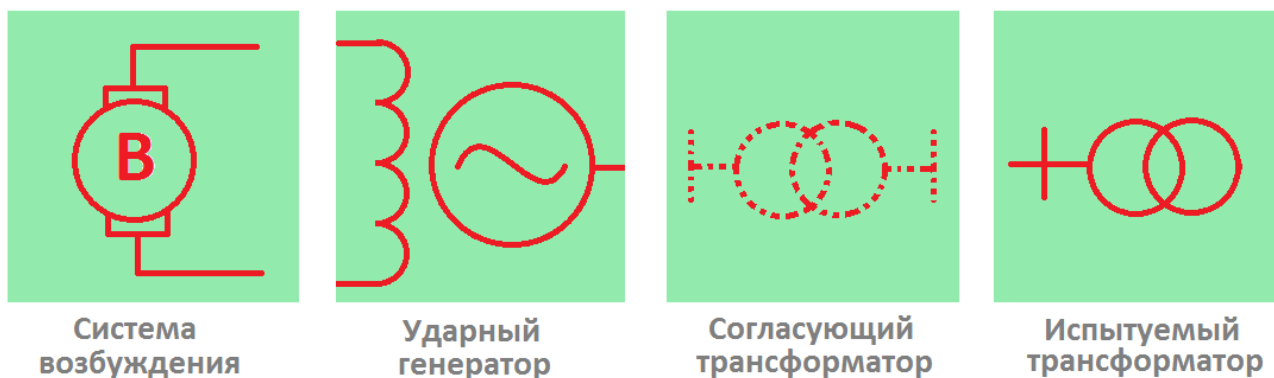


Рисунок 1 – Основные элементы стенда электродинамических испытаний.

Система возбуждения ударного генератора должна обеспечить высокую скорость приращения ЭДС генератора во время опыта КЗ. Достигается форсированием возбуждения.

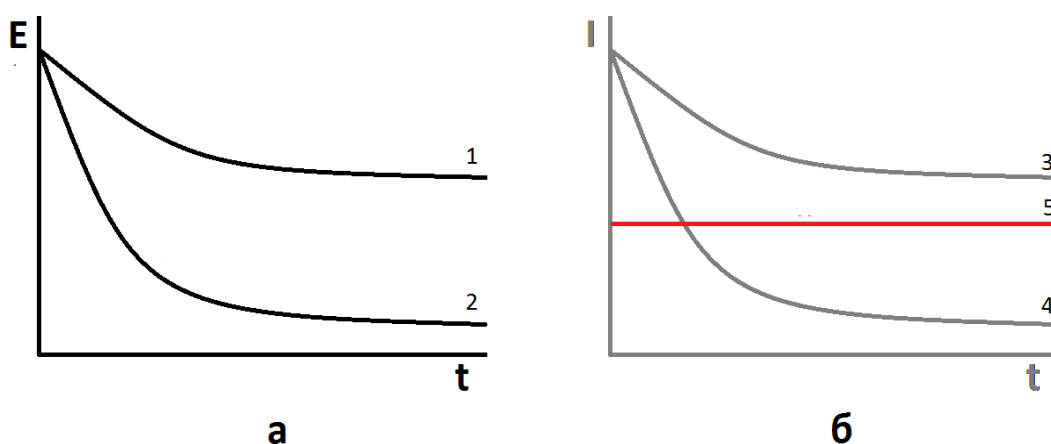


Рисунок 2 - ЭДС ударного генератора (а) и ток в цепи (б) во время проведения испытания: 1, 2 – ЭДС генератора при наличии и без форсировки возбуждения; 3, 4 – ток в цепи при наличии и без форсировки возбуждения; 5 – необходимый испытательный ток для конкретной модели трансформатора

Из рисунка 2 следует логическая цепочка:

- отсутствие (недостаточная кратность) форсировки возбуждения;
- мгновенное снижение ЭДС генератора при коротком замыкании в цепи;
- невозможно поддерживать уровень испытательного тока на протяжении всего опыта.

Ударный генератор - это специальный синхронный генератор, у которого режим КЗ является не аварийным, а рабочим.

Особенности ударного генератора:

- меньшее значение переходного и сверхпереходного сопротивлений;
- усиленное механическое крепление обмоток статора;
- рассчитан на работу менее 1с.

Согласующий трансформатор применяется в том случае, когда номинальные напряжения генератора и трансформатора не совпадают.

Особенности:

- низкий уровень $U_k\%$;
- гибкость регулирования напряжения: ПБВ с кратностью 10-20%, возможность переключения схем соединения обмоток с звезды на треугольник и наоборот.

Испытуемый трансформатор подключают к испытательному стенду той стороной, которая соответствует уровню напряжения собранной схемы стенда.

К стенду могут быть подключены все 3 фазы. Можно испытывать трансформатор пофазно. Во втором случае можно испытать более мощный трансформатор.

Алгоритм проведения испытаний:

- измерение характеристик (X, R и др.) трансформатора;
- проведение 5 зачетных опытов КЗ. Время проведения по ГОСТ 20243 составляет 0.5 – 1 с;
- повторное снятие характеристик трансформатора и осмотр элементов трансформатора;
- анализ измеренных характеристик и осмотра.

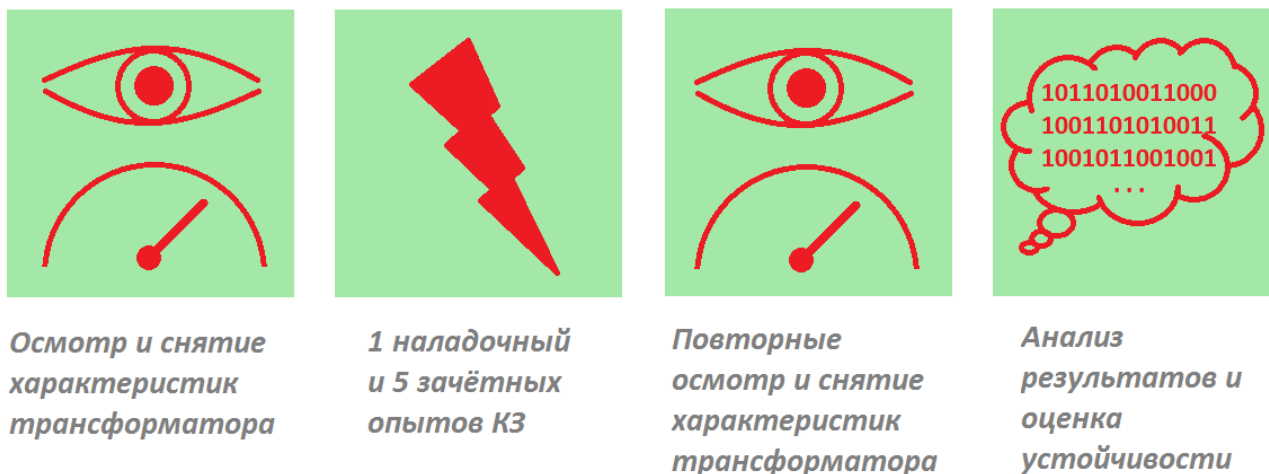


Рисунок 3 – Алгоритм проведения испытаний

Усовершенствование проведения испытаний тесно связано с внедрением новых измеряемых характеристик трансформатора.



Рисунок 4 – Дополнительные измеряемые характеристики для оценки стойкости трансформатора к токам короткого замыкания

Кривые шума и вибрации, а также индикацию замыкания обмотки на корпус снимают во время опытов КЗ. Реакцию обмоток на импульсный ток малого напряжения измеряют до и после опыта. Увеличение числа снимаемых характеристик, а также усовершенствование проведения испытаний гарантируют высокий уровень контроля качества продукции. Это позволяет выявить возможные дефекты, чтобы еще до массового производства продукции устранить их.

Литература

1. Трансформаторы силовые. Общие технические характеристики. ГОСТ 11677-85 / М.: ИПК Издательство стандартов. 1985. – 38 с.
2. Трансформаторы силовые. Методы испытаний на стойкость при коротких замыканиях. ГОСТ 20243-74 / М.: ИПК Издательство стандартов. 1974. – 14 с.
3. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях: сборник статей / под ред. А.И. Лурье – М.: «Знак». 2005. - 520 с.
4. Трансформаторы силовые масляные: рабочая методика испытаний на стойкость при коротком замыкании: научная работа / утв. В.А. Хабаров – МЭТЗ им. В.И. Козлова, 1989. – 20 с.
5. Исследование режимов работы установки для динамических испытаний трансформаторов, автоматических выключателей и панелей: научная работа / Ю. Румянцев, Э. Сварко – БПИ, 1964. – 18 с.

УДК 621.311

СПОСОБЫ ПОИСКА МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ 10КВ

Спода А. Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е. В.

Высокие темпы развития электросетей при одновременном сокращении удельной численности эксплуатационного персонала требуют ускоренного внедрения средств автоматики.

В электрических сетях широкое распространение получили устройства для определения мест повреждения, в первую очередь на воздушных электрических линиях напряжением 10 кВ и выше, основанные на измерении параметров аварийного режима. Эти устройства можно разделить на две основные группы, предназначенные для определения мест повреждений при коротких замыканиях и при замыканиях на землю.

Определение мест повреждения при коротких замыканиях

Определение места короткого замыкания на линиях особенно важно, так как отключение линии при устойчивых повреждениях связано с недоотпуском электроэнергии и материальным ущербом, наносимым потребителям. В этих случаях ускорение поиска повреждений дает большой экономический эффект.

По принципу действия устройства ОМП могут быть разделены на три основные группы:

- фиксирующие приборы для определения расстояния до места повреждения на воздушных линиях, автоматически измеряющие и фиксирующие значения электрических величин во время аварийного режима;
- устройства для определения поврежденных при коротком замыкании (КЗ) участков сети, автоматически контролирующие и фиксирующие изменения электрических величин промышленной частоты во время аварийного режима;
- переносные устройства для определения места замыкания на землю в электросетях, работающих с изолированной нейтралью или в режиме компенсации емкостного тока, осуществляющие контроль процессов в сети при замыкании на землю с помощью датчиков тока и напряжения.

Разработаны различные типы фиксирующих приборов, ряд из которых успешно эксплуатируется. В распределительных сетях напряжением 10 кВ нашли применение приборы типа ФИП (ФИП-1, ФИП-2, ФИП-Ф), ЛИФП и др. Широко используется также устройство типа ФМК-10 и «Сириус-2-ОМП».

Учитывая, что фиксирующие приборы обеспечивают автоматическое измерение и фиксацию электрических величин во время короткого замыкания, они должны удовлетворять определенным требованиям, в частности следующим: измерение необходимо закончить до начала отключения поврежденных участков линии от релейной защиты, т. е. в течение порядка 0,1 с, прибор должен сохранять значение зафиксированной электрической величины в течение времени, достаточного для прибытия на подстанцию (без постоянного дежурства) оперативной выездной бригады, т. е. не менее 4 ч, должен предусматриваться автоматический селективный запуск приборов, чтобы контролируемая величина была зафиксирована только при аварийных отключениях линий, прибор должен обеспечивать определенную точность измерения (обычно относительная погрешность измерения не должна превышать 5 %) и т. д.

Один из простейших вариантов фиксирующих приборов — **устройство, замеряющее (фиксирующее) ток короткого замыкания**. При этом для определения расстояния до места короткого замыкания можно решить задачу, обратную той, которую рассматривают при расчете тока короткого замыкания, а именно по известным величинам тока короткого замыкания и напряжения определить сопротивление до точки короткого замыкания. Зная это

сопротивление, несложно по известным параметрам сети найти расстояние до точки короткого замыкания.

Наибольшее распространение получили **фиксирующие приборы с так называемой электрической памятью**. Они основаны на использовании запоминающего конденсатора. При этом во время процесса короткого замыкания запоминающий конденсатор быстро заряжается до напряжения, пропорционального значению фиксируемого тока короткого замыкания (или соответствующего ему напряжения). Затем на следующем этапе к запоминающему конденсатору подключается считывающее устройство, управляющее элементом с долговременной памятью. Таким образом обеспечиваются указанные выше требования быстрого замера до отключения линии под действием релейной защиты и возможности длительно сохранять зафиксированную величину.

На этом принципе были разработаны перечисленные выше приборы типа ФИП, нашедшие применение в распределительных сетях 10 кВ.

Для облегчения практического применения приборов, фиксирующих ток короткого замыкания, чтобы не требовалось каждый раз в аварийной ситуации проводить расчеты, используют эквитоковые кривые. При этом предварительно рассчитывают токи короткого замыкания для достаточно большого числа точек каждой отходящей линии и по результатам расчета на схему линии наносят эквитоковые кривые магистральной части линии и ответвлений с равными значениями токов короткого замыкания. После того как прибором будет зафиксировано определенное значение тока короткого замыкания, по схеме линии с эквитоковыми кривыми непосредственно определяют зону поиска повреждения.

Однако простейшие приборы типа ФИП, фиксирующие ток короткого замыкания, имеют ряд недостатков, в том числе следующие: для определения расстояния до точки короткого замыкания требуются дополнительные расчеты или предварительное построение эквитоковых кривых, на точность замера (погрешность прибора) влияют переходное сопротивление в месте повреждения (в первую очередь сопротивление дуги), уровень напряжения в сети, значение тока нагрузки (прибор фактически измеряет суммарный ток нагрузки и короткого замыкания) и т. д.

Более совершенными являются **фиксирующие омметры, особенно измеряющие реактивное сопротивление**. При измерении сопротивления, то есть отношения напряжения к току, удается значительно уменьшить влияние изменения уровней напряжения на точность замера. Измерение реактивного сопротивления уменьшает также влияние сопротивления дуги в точке короткого замыкания, которое является в основном активным, и дает возможность проградуировать шкалу прибора в километрах. Если к тому же приборы измеряют ток нагрузки, предшествующей режиму короткого замыкания, появляется возможность учесть и соответственно уменьшить влияние тока нагрузки.

Омметр в отличие от фиксирующих амперметров и вольтметров измеряет не одну, а две величины (ток и напряжение), которые подаются на его вход. Для уменьшения шунтирующего влияния нагрузки отдельно может быть измерен ток нагрузки, предшествующей появлению короткого замыкания. Все эти величины фиксируются (запоминаются) по принципу, рассмотренному выше (при этом токи предварительно преобразуются в пропорциональные им напряжения), а затем при помощи специальных схем (преобразовательных блоков) преобразуются в сигналы, пропорциональные сопротивлению (полному, реактивному, с учетом тока предшествующей нагрузки и т. д.). Учитывая, что реактивное (индуктивное) сопротивление линий мало зависит от площади сечения применяемых проводов, шкалы этих приборов проградуированы в километрах. К таким приборам относятся фиксирующие омметры типа ФМК-10, ФИС и др.

Устройства для определения поврежденных участков воздушных линий

При помощи таких устройств можно определить направление поиска точек короткого замыкания на воздушных линиях напряжением 10 - 35 кВ. Устройства, как правило, устанавливаются в месте разветвления линии — на первых опорах после точки разветвления. Они фиксируют появление тока короткого замыкания при возникновении его на ответвлении

или участке магистрали линии за точкой установки устройства. При поиске короткого замыкания на отключенной линии от этих устройств получают информацию о наличии (устройство сработало) или отсутствии (не сработало) короткого замыкания за местом его установки. В электрических сетях получили распространение **указатели поврежденных участков** типа УПУ-1 и более совершенные и надежные указатели короткого замыкания типа УКЗ и ИКЗ.

Возникновение короткого замыкания указатель фиксирует при помощи магнитного (индукционного) датчика тока, устанавливаемого в зоне проводов, но не имеющего непосредственной связи с ними. Один указатель обеспечивает информацию о всех видах междуфазных коротких замыканий.

Указатель типа УКЗ выполнен в виде исполнительного блока, содержащего, кроме магнитного датчика, электронную схему управления и магнитный индикатор.

При возникновении короткого замыканий за местом установки указателя он срабатывает за счет броска тока короткого замыкания, в результате чего флажок индикатора поворачивается к наблюдателю стороной, окрашенной в яркий оранжевый цвет, и остается в этом положении, если линия отключается защитой.

После подачи напряжения на линию (при успешном АПВ или после устранения повреждения) флажок индикатора автоматически возвращается в исходное положение. Возврат флажка происходит благодаря емкостному отбору напряжения линии при помощи антенного преобразователя.

Установка указателей дает возможность обслуживающему персоналу при повреждении линии объехать точки разветвления и, определив поврежденный участок, обойти для нахождения места короткого замыкания только поврежденный участок, а не всю линию. Указатели целесообразно устанавливать, как при отсутствии, так и при наличии фиксирующих приборов для определения расстояния до точки короткого замыкания. В последнем случае указатели ускоряют поиск в связи с тем, что из-за разветвленности сельских линий 10 кВ показания фиксирующих приборов определяют не одну, а, как правило, несколько точек короткого замыкания (на магистрали и разных ответвлениях).

Устройства для определения места однофазного замыкания на землю

Однофазные замыкания на землю — наиболее частый вид повреждения. В сельских распределительных сетях напряжением 10 кВ, работающих с изолированной нейтралью, однофазные замыкания на землю, сопровождающиеся относительно малыми токами, не являются короткими замыканиями. Поэтому при их возникновении допускается не отключать линию в течение времени, требуемого для устранения повреждения.

Однако необходимо максимально быстро определить место и устранить повреждение, так как однофазное замыкание на землю может перейти в двойное. Последнее является коротким замыканием и будет отключено защитой, что приведет к перерыву в электроснабжении потребителей.

Кроме того, возможны замыкания на землю, например, при обрыве провода и падении его на землю, весьма опасные для жизни людей и животных. В то же время замыкания на землю могут происходить в результате скрытых повреждений, например, при внутренних трещинах изоляторов, когда внешние признаки замыкания отсутствуют и обнаружить его визуально очень сложно. Поэтому были разработаны специальные устройства — переносные приборы, облегчающие и ускоряющие отыскание места повреждения.

Принцип действия переносных приборов, используемых в электрических сетях напряжением 10 кВ, основан на измерении высших гармонических составляющих тока замыкания на землю. Значительно больший уровень гармоник в спектре токов замыкания на землю по сравнению с токами нагрузки обеспечивает эффективное действие этих приборов.

В сельских электрических сетях 10 кВ получили распространение, приборы типа «Поиск» (сняты с производства) и более совершенные «Волна» и «Зонд». В приборах «Поиск» и «Волна» основные элементы — магнитный (индуктивный) датчик, фиксирующий

появление (увеличение амплитуды) гармонических составляющих тока, фильтр высших гармоник, пропускающий те из них, на которые настроен прибор, усилитель, обеспечивающий требуемое усиление сигнала, и измерительный прибор, выдающий результирующий сигнал.

Место замыкания на землю в линии определяют следующим образом. Если обход линии начинается с подстанции, делают замеры на выходе линии с подстанции, располагая прибор под линией. Поврежденную линию определяют по максимальному отклонению стрелки измерительного прибора. Делая измерения в местах разветвления поврежденной линии, аналогичным образом определяют поврежденное ответвление или участок магистрали. За местом замыкания на землю показания прибора резко уменьшаются, что и определяет точку замыкания.

Прибор «Зонд» — устройство направленного действия, то есть он обеспечивает не только определение места замыкания на землю, но и направление поиска, что представляет интерес, если поиск начинается не с подстанции, а с какой-то точки поврежденной линии. Действие его основано на сравнении фаз напряжения и тока 11-й гармоники (550 Гц). Поэтому, кроме указанных основных элементов, «Зонд» имеет орган сравнения фаз, а выходной измерительный прибор имеет шкалу с нулем посередине.

Литература

1. А. П. Кузнецов. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи – Москва: Энергоиздат, 1989. – 50 с
2. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей.- Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 365 с
3. <http://leg.co.ua/knigi/rzia/opredelenie-mest-povrezhdeniya-na-vl.html>

УДК 621.311

ВОПРОСЫ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10(6)/0,4 КВ

Суськова В.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

Распределительные электрические сети обеспечивают электроэнергией городских, промышленных и сельскохозяйственных потребителей. Данные сети характеризуются значительной протяженностью, в сравнении с сетями более высоких напряжений. Эффективность эксплуатации распределительных сетей 10(6)/0,4 кВ зависит от степени достижения оптимального уровня их экономичности, надежности и безопасности при минимизированных затратах на выполнение соответствующих мероприятий. Особенно важно при этом выполнение двух условий: на зажимах потребителей должно поддерживаться нормативное значение напряжения, а технологические потери в процессе передачи электроэнергии этим потребителям должны быть минимальными и экономически обоснованными. Постепенный естественный физический износ оборудования, конструкций, материалов приводит к снижению надежности электроснабжения. Поэтому возникает необходимость модернизации, технического перевооружения, которые должны осуществляться на современных принципах и современной элементной базе.

Лучший результат для повышения эффективности работы сетей 10(6)/0,4 кВ дает синхронное решение двух задач – обеспечение отклонения напряжения у потребителя в допустимых пределах и снижение потерь энергии в сети. Однако в некоторых ситуациях, когда предпочтение отдают ограничению нижнего предела отклонения напряжения, например с помощью продольных вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) на линиях 0,4 кВ, а на увеличение технологических потерь энергии не обращают внимания, итог получается отрицательным.

Для анализа технико-экономической эффективности применения ВДТ в сетях 0,4 кВ смоделируем упрощенную, но соответствующую условиям эксплуатации схему ВЛ, питающую сельскохозяйственных потребителей (рис. 1). Нагрузки, указанные на схеме для номинального напряжения 380/220 В и $\cos\varphi = 0,95$, задаются эквивалентными сопротивлениями.

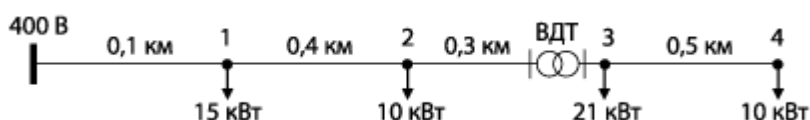


Рисунок 1 – Упрощенная схема ВЛ, питающей сельскохозяйственных потребителей

Кроме необходимости обеспечить допустимые значения отклонений напряжения ($-10/+5\%$) в точках 3 и 4, учтем влияние ВДТ при разных коэффициентах его трансформации на напряжение, для данной линии – в точке 2. При проведении расчетов по параметрам фазных токов и напряжений согласно такой модели напряжение в точках 2 и 4 окажется равным минимально допустимому, однако возрастут потери мощности и энергии в сумме трех фаз.

В качестве альтернативного варианта можно рассмотреть замену провода на провод большего сечения: А-35 на А-50, А-70 или А-95 (применение провода марки АС практически не изменяет результаты расчета). Приемлемым для замены, с учетом технологии и стоимости выполнения работ, оказался провод А-70.

В экономической плоскости способ обеспечения желательных уровней напряжения на зажимах потребителей электроэнергии посредством замены проводов также обладает преимуществом. Рыночная цена ВДТ мощностью, соответствующей рассматриваемому примеру, составляет порядка \$14 000, что в 2 раза превышает стоимость нового провода и

работ по реконструкции данной линии. Добавим существенное снижение потерь энергии. Получим однозначный вывод: единственная ситуация для применения ВДТ – чрезвычайные обстоятельства при невозможности быстрее выполнения реконструкции линии.

Технико-экономическая эффективность эксплуатации силовых трансформаторов определяется не только их конструктивными параметрами, но и тем, как соблюдаются уровни напряжения во взаимосвязанных элементах цепи «внешний источник относительно сети 10(6) кВ – линии 10(6) кВ – трансформаторы 10(6)/0,4 кВ – линии 0,4 кВ – потребитель».

Трансформаторы 10(6)/0,4 кВ оснащаются устройствами ПБВ – переключения ответвлений обмоток высшего напряжения без возбуждения. Такие устройства предназначены для выполнения функций поддержания нормированных уровней напряжения в случаях установки трансформаторов в местах сети с постоянным или возникающим из-за сезонных изменений мощности нагрузки отклонением напряжения.

Однако, во-первых, по достоверным сведениям, приводом ПБВ многих трансформаторов 10(6)/0,4 кВ за все время эксплуатации мало кто пользовался. Во-вторых, для современных распределительных сетей с их общеизвестными, заложенными уже на стадии проектирования недостатками далеко не всегда установка ПБВ-трансформатора на ответвление его первичной обмотки, удовлетворяющее предпочтительному уровню напряжения, положительно сказывается на экономических показателях эксплуатации сети.

При относительно больших отклонениях напряжения в сети 0,4 кВ, вызванных суточными колебаниями нагрузки, и неизменном коэффициенте трансформации питающего трансформатора появляется ряд отрицательных моментов. Как правило, с целью поддержания необходимого напряжения у потребителей протяженных линий 0,4 кВ, ПБВ конкретного трансформатора 10(6)/0,4 кВ устанавливается в положение, отвечающее меньшему коэффициенту трансформации. После спада дневного и особенно вечернего максимума даже с учетом регулирующего эффекта питающей подстанции, где имеется такая возможность, напряжение на рассматриваемом трансформаторе повышается минимум на 5% относительно номинального для данного ответвления первичной обмотки. А часто оно бывает и выше с известными последствиями увеличения потерь холостого хода, особенно в условиях питания сети 10(6) кВ от подстанции с трансформаторами 35/10(6) кВ, оснащенными ПБВ.

Соответствующее этому режиму сети напряжение питания оставшихся включенными отдельных потребителей (двигатели, освещение, технологические установки и др.) приводит к ускорению их износа и неоправданному перерасходу электроэнергии.

Кроме ущерба от потерь и превышения потребления энергии, существенен урон и от пониженной надежности трансформаторов с ПБВ. Опыт эксплуатации силовых трансформаторов напряжением 10(6)/0,4 кВ свидетельствует о том, что до 50% их повреждений напрямую или косвенно связаны с наличием ответвлений высоковольтной (первичной) обмотки. К таким повреждениям относятся: дефекты контактных соединений переключателя и нарушение их термической стойкости; снижение электрической прочности изоляции в местах вывода из обмотки проводов ответвлений; недостаточная динамическая прочность обмоток высокого напряжения (особенно изготовленных с применением круглого алюминиевого провода).

В целом применение трансформаторов, оснащенных ПБВ, в сетях 10(6)/0,4 кВ является убыточным и для изготовителей трансформаторов, и для организаций, эксплуатирующих сеть, и для потребителей электроэнергии.

Возможной альтернативой использования ПБВ распределительного трансформатора является применение автоматически регулируемых установок компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ подстанций 10(6)/0,4 кВ. Во-первых, цена конденсаторов 10(6) и 0,4 кВ составляет ориентировочно 10:1. Во-вторых, их повреждаемость в эксплуатации определяется тем же соотношением и в основном не столько из-за недостаточного уровня длительной и кратковременной электрической прочности внутренней изоляции

конденсаторов, сколько из-за непредсказуемости воздействия грозových, коммутационных и дуговых перенапряжений. В-третьих, отсутствует возможность регулирования компенсации. В-четвертых, не устраняется нагрузка трансформатора по реактивной мощности.

Значимость распределительных кабельных сетей, которые становятся практически единственным звеном передачи электрической энергии (ВЛ не отвечают в полной мере требованиям надежности, экономичности, экологической приемлемости), неизмеримо возрастает. Постепенно такие сети преобразуются в малые активно-адаптивные энергетические системы, обладающие собственным полноценным источником электрической и тепловой (полезно используемой) мощности.

Строительство этих систем, которые предлагается назвать Mid-Small Grid (M-S Grid), рассматривается в виде переходного периода к наиболее эффективным системам высшего уровня, именуемым сейчас Microgrid, где в перспективе источник и потребитель энергии будут представлять собой единое целое. Особо значимы M-S Grid для развития энергетики РФ, где до двух третей территории не охвачены централизованным энергоснабжением.

В ходе реконструкции и сооружения новых распределительных сетей с целью комплексного решения перечисленных задач необходимо в первую очередь определить приемлемое сочетание номинальных напряжений этих сетей с учетом напряжения питающей (внешней) сети, не упуская из виду концепцию Smart Grid и ее ответвлений в виде Mid-Small Grid на пути к Microgrid.

В истоках M-S Grid – разработка идеи адресного снабжения (АС) электроэнергией. Рассматривались возможные сочетания напряжений: 3; 5; 6; 10; 15; 20; 27,5; 35 кВ. С учетом адаптации к современным условиям предпочтительными признаны подстанции глубокого ввода напряжением 35/6,3 кВ и кабельные сети 6/0,4 кВ.

В системе АС сеть 6 кВ внедряется для радикального уменьшения протяженности линий 0,4 кВ. Последняя ступень трансформации максимально приближается к потребителю. Прокладка кабелей и проводов 6 и 0,4 кВ в земле осуществляется в отдельных диэлектрических трубах.

Такие системы применимы в схемах снабжения потребителей сельской местности, городов с малой и средней численностью населения. В больших городах необходимы пункты питания напряжением 110 кВ. В крупном жилищном строительстве: ввод 35 кВ и подъездные или междуэтажные подстанции 6/0,4 кВ. Подобным образом решается задача энергообеспечения жилых микрорайонов городов. Системы M-S Grid безальтернативны для поселений XXI века – экотехнополисов и экоаглополисов.

Высшее напряжение сети АС 6 кВ было выбрано также исходя из целесообразности применения в адресных комплектных подстанциях (КТП АС) сухих силовых трехфазных и однофазных (фактически двухфазных) энергоэкономичных трансформаторов, достаточно надежных и относительно недорогих при таком напряжении первичной обмотки.

В целом сети адресного снабжения (M-S Grid) обеспечивают автоматическое, посредством РПН трансформаторов 35/6,3 кВ, поддержание напряжения 0,4 кВ у потребителей в пределах отклонения $-5/+2,5\%$ от номинального значения и ограничение потерь энергии до величины не более 5%.

Литература

1. Короткевич А.М., Драко М.А., Уласовец Р.И. Выбор конструктивного исполнения линий электропередачи напряжением 10 кВ для городской электрической сети. // Энергетическая стратегия, - 2015. №6(48). – С. 22 – 24.
2. Назаров В. Распределительные сети 10(6)/0,4 кВ. Вопросы реконструкции. // Новости электротехники, - 2014. №4(88).

УДК 621.311

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК

Позняк Б. А.

Научный руководитель – ассистент Юршо Е. Л.

В современном мире всё большее распространение получают альтернативные источники энергии, что связано, в основном, с их экологической безопасностью и неисчерпаемостью. В настоящее время наибольшее распространение получили солнечные и ветровые установки. Для нашей страны ветроустановки не являются чем-то новым. Возле Новогрудка и Держинска уже несколько лет работают «ветряки». Интерес представляют современные решения в области конструкции и принципа работы ветроустановок. Именно этот вопрос и будет освещен в докладе.

История ветроэнергетики насчитывает более 6000 лет. В доисторическое время в Древнем Египте появился самый примитивный парус: он представлял из себя шкуру зверя, которую держал человек, стоящий на лодке, тем самым, заставляя корабль перемещаться. В VII веке нашей эры появляются ветроустановки в Персии. Большой вклад в развитие ветроэнергетики внесли голландцы. Они первые придумали ветряные мельницы для подъема воды. Время шло, и люди все чаще задумывались о ветре как о источнике бесплатной энергии. Наступил такой этап развития технологии, когда стали строить электрогенераторы. И в Дании в 1890 году построили первый ветрогенератор для производства электричества. Такие ветрогенераторы устанавливались в труднодоступных местах.

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) — устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Ветрогенераторы можно разделить на три категории: промышленные (устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями), коммерческие и бытовые (для частного использования).

Принцип работы (рис. 1.1):

1. Энергия ветра воздействует на лопасти ветрогенератора и приводит их в движение.

2. Вращательное движение лопастей, через вал и редукторную установку приводит в движение генератор, который обычно представлен двигателем постоянного тока низкого напряжения. С таких генераторов как правило снимается постоянное напряжение в 12 В, 24 В или 48 Вольт.

3. Полученное напряжение с генератора поступает на зарядное устройство, которое заряжает блоки аккумуляторных батарей необходимой мощности.

4. Аккумуляторные батареи также подключены к повышающим преобразователям напряжения переменного тока. Данные преобразователи предназначены для преобразования низковольтного постоянного напряжения аккумуляторных батарей (12В, 24В, 48В) в высоковольтное переменное напряжение (однофазное 220 В, 50 Гц или трехфазное 380 В, 50 Гц и др.).

Именно это напряжение и является конечным продуктом генерации ветрогенератора.

Наибольшую популярность получили горизонтальные ветрогенераторы, ось вращения турбины которых расположена параллельно земле. Этот тип получил название «ветряной мельницы», лопасти которой вращаются против ветра. Конструкция горизонтальных ветрогенераторов предусматривает автоматический поворот головной части (в поисках ветра), а также поворот лопастей, для использования ветра небольшой силы.

1. Ветер вращает колесо с лопастями, которое передает крутящий момент на вал генератора через редуктор.
2. Инвертор, выполняет задачу преобразования полученного постоянного электрического тока в переменный
3. Аккумулятор, предусмотрен для подачи в сеть напряжения при отсутствии ветра.

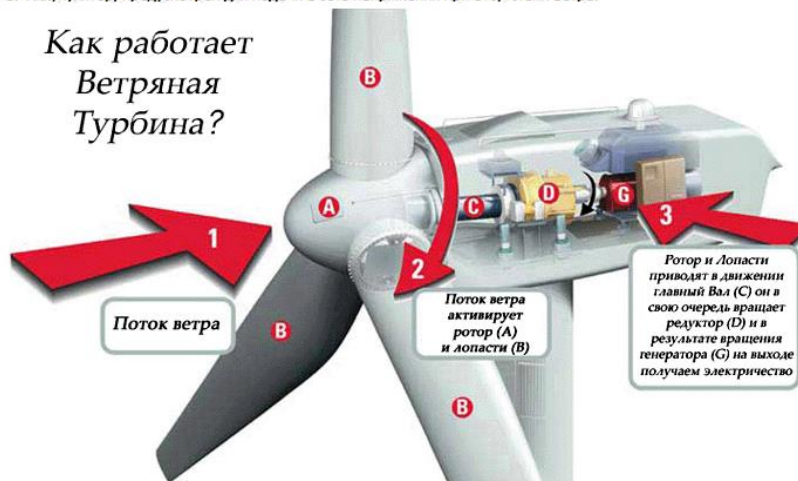


Рисунок 1.1 – Принцип работы ВЭУ

Вертикальные ветрогенераторы гораздо менее эффективны. Лопасти такой турбины вращаются параллельно поверхности земли при любом направлении и силе ветра. Так как при любом направлении ветра половина лопастей ветроколеса всегда вращается против него, ветряк теряет половину своей мощности, что значительно снижает энергоэффективность установки. Однако ВЭУ такого типа проще в установке и обслуживании, поскольку ее редуктор и генератор размещаются на земле. Недостатками вертикального генератора являются: дорогостоящий монтаж, значительные эксплуатационные затраты, а также то, что для установки такой ВЭУ требуется немало места.

Следует отметить, что парусные лопасти (рис. 1.2) значительно проще в изготовлении, а потому менее затратны, нежели жесткие металлические (рис.1.2) или стеклопластиковые. Однако подобная экономия может обернуться непредвиденными расходами. Если диаметр ветроколеса составляет 3 м, то при оборотах генератора 400-600 об/мин кончик лопасти достигает скорости 500 км/ч. С учетом того обстоятельства, что в воздухе содержится песок и пыль, этот факт является серьезным испытанием даже для жестких лопастей, которые в условиях стабильной эксплуатации требуют ежегодной замены антикоррозийной пленки, нанесенной на концы лопастей. Если не обновлять антикоррозионную пленку, то жесткая лопасть постепенно начнет терять свои рабочие характеристики.

Лопасти парусного типа требуют замены не раз в год, а непосредственно после возникновения первого серьезного ветра. Поэтому автономное электроснабжение, требующее значительной надежности компонентов системы, не рассматривает применение лопастей парусного типа.



Рисунок 1.2 – Ветрогенераторы с жесткими и парусными лопастями

Современные ветрогенераторы представляют собой высокотехнологичные изделия, мощность которых составляет от 100 до 6 МВт. ВЭУ инновационных конструкций позволяют экономически эффективно использовать энергию самого слабого ветра – от 2 м/с. При помощи ветрогенераторов сегодня можно с успехом решать задачи по электроснабжению островных или локальных объектов любой мощности.

Американская компания SheerWind, которая специализируется на разработке и производстве ветрогенераторов, представила свой новый продукт под названием INVELOX (рис.1.3). Новинка представляет собой ветровую турбину туннельного типа. Продолжительные испытания в полевых условиях продемонстрировали, что турбина может вырабатывать на 600% больше электроэнергии, чем традиционные аналоги. Представители компании заявляют, что этот продукт не только существенно превосходит в плане КПД традиционные ветряки, но и позволяет добиться снижения капитальных затрат на установку системы до \$ 750 за 1 кВт генерирующей мощности.

Конструкция INVELOX позволяет нагнетать воздух в верхнюю часть аэродинамической трубы, которая устанавливается вертикально. Затем воздушные массы направляются через постепенно сужающийся канал, что позволяет естественным образом ускорить поток ветра. Инженеры SheerWind утверждают, что турбина INVELOX может вырабатывать электроэнергию даже при минимальной скорости ветра (от 0.5 м / с).

В отличие от других турбин, новинка может похвастаться минимальным уровнем негативного воздействия на экологию и на животный мир. Кроме того, ветряк INVELOX отличается относительно низкой стоимостью. По словам представителей SheerWind, эксплуатация этого энергоблока вполне может быть прибыльной даже без государственных субсидий. Все эти качества позволяют INVELOX революционизировать сектор возобновляемой энергетики в самое ближайшее время.

Ультра-эффективные ветряные турбины будущего будут выглядеть совершенно иначе, чем современные 3-х лопастные ветрогенераторы, считает профессор Университет Кьюсю Юдзи Охья.

Охья и его команда недавно представили технологию «Воздушная Линза» (с англ. «WindLens») (рис. 1.4), которая имеет структуру по типу пчелиных сот. По словам ученых, она может утроить количество энергии, производимой оффшорными турбинами из энергии ветра. Структура работает по принципу увеличительного стекла, усиливающего солнечные лучи, однако в этом случае линза усиливает поток ветра.

Конструкция Охьи имеет не слишком много движущихся частей – она представляет собой простой обруч (также известный как «наполненный диффузор»), который «увеличивает» энергию ветра, и турбину, которая

приводится в движение ветром, получаемым от обруча. Каждая линза, диаметр которой равен 112 метрам, может обеспечить электрической энергией домашнее хозяйство среднего размера.

По словам Охьи, его «Ветряная Линза» также является более эстетически привлекательной альтернативой традиционным оффшорным турбинам.



Рисунок 1.3 – Ветроустановка INVELOX



Рисунок 1.4 – Ветроустановки выполненные по технологии «Воздушная Линза»

В настоящее время быт человека во многом зависит от энергоспособности государства и обеспечения электроэнергией населения. Для крупных потребителей электроэнергии существуют АЭС, ТЭЦ, ГЭС, которые обеспечивают многонаселённые пункты, сельское хозяйство и промышленность. Но до сих пор остаются населённые пункты, которые не имеют устойчивого электроснабжения. Наиболее осязаемая проблема связана с электроэнергией, так как, чтобы обеспечить электроэнергией район, требуется много времени

и денег. Ветроэнергетика же является наиболее эффективным средством для обеспечения малого потребителя, для быта. Локальное расположение установки, простота монтажа конструкции и использования являются явными преимуществами относительно традиционных источников энергии.

Как известно, ветер дует везде. Ветроэнергетическая установка - это универсальный источник энергии. Человеку для повседневной жизни в быту нужно не так уж много электроэнергии. Зачем тратить большие силы, чтобы доставить малое количество энергии, если можно поставить малый источник.

Литература

1. diplomba [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://diplomba.ru/work/131550>, свободный. – Загл. с экрана.
2. electricalschool [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/energy/1044-klassy-konstruktivnye-osobennosti-i.html>, свободный. – Загл. с экрана.
3. in-yan-mir.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://in-yan-mir.ru/blog/43096716600/Vetryanaya-turbina-Wind-Lens-mozhet-uvlechit-kolichestvo-proi>, свободный. – Загл. с экрана.
4. livejournal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aforester.livejournal.com/123948.html>, свободный. – Загл. с экрана.
5. newenergy [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://newenergy.com.ua/--/>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>, свободный. – Загл. с экрана

УДК 621.311

РАСЧЕТ РЕЖИМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗЛОВЫХ УРАВНЕНИЙ

Сазонов П.А., Ёч Э.И.

Научный руководитель - старший преподаватель Мышковец Е.В.

Мы включаем свет, наши компьютеры, наблюдаем по телевидению, как летят в космос корабли, все это было бы невозможным без электричества. Современный мир завязан на электроэнергии, а ее производство и доставка к потребителям невозможна без многочисленных расчётов. Результаты электрических расчетов могут использоваться для выбора необходимых средств регулирования напряжения, оценки потерь мощности и электроэнергии, выбора мероприятий по их снижению и другое.

Нами были разработаны программы в математическом пакете Mathcad, нацеленные на исследование и расчет режима замкнутой электрической сети методом обращенных узловых напряжений с использованием итерационного метода определения неизвестных. Принцип ввода и получения расчётных данных по исследуемой сети схож с аналогичными действиями в программе RASTRWin. Работа полученной нами программы предельно проста: вводим и сортируем исходные данные, рассчитываем необходимые матрицы коэффициентов, которые будут характеризовать сопротивления и проводимости ветвей, рассчитываем уравнения, определяем потокораспределение. Мы стремились добиться максимально точных результатов расчетов. Для проверки их достоверности, сравнивали с результатами расчетов промышленной программы RASTRWin.

$$\text{Vetvil} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4.5 & 38.76 & -415.2 & -4.32 & 229.295 & -37.553i & 226.904 & +0.024i \\ 1 & 4 & 3.375 & 29.07 & -311.4 & -3.24 & 277.303 & -35.234i & 274.87 & -12.545i \\ 2 & 3 & 3.375 & 29.07 & -311.4 & -3.24 & -46.487 & -13.327i & -46.961 & +26.124i \\ 2 & 4 & 7.2 & 39.72 & -405.6 & -4.32 & 20.635 & -28.074i & 20.057 & +23.852i \\ 3 & 4 & 7.2 & 39.72 & -405.6 & -4.32 & -53.513 & -16.673i & -54.235 & +34.471i \end{pmatrix}$$

Рисунок 1. Результаты расчета потокораспределения разработанной программы

N_нач	N_кон	R	X	B	G	P_нач	Q_нач	P_кон	Q_кон
1	2	4,50	38,76	-415,2	4,3	-229	37	-227	0
2	3	3,38	29,07	-311,4	3,2	-47	26	-46	-13
2	4	7,20	39,72	-405,6	4,3	20	24	21	-28
3	4	7,20	39,72	-405,6	4,3	54	17	54	-34
1	4	3,38	29,07	-311,4	3,2	-277	35	-275	12

Рисунок 2. Результаты расчета потокораспределения в RASTRWin

Скорость сходимости итерационного процесса один из важнейших показателей в работе программ расчета режимов. Мы провели исследование сходимости нашей программы и программы RASTRWin для произвольной схемы, изменяя следующие параметры режима: увеличивали нагрузку во всех узлах схемы и уменьшали напряжение в балансирующем узле. Показателем скорости сходимости будет количество требуемых итераций для достижения заданной точности расчетов.

Таблица 1. Результаты сходимости при увеличении нагрузки в узлах.

Обращённые узловые уравнения напряжений решённые методом простой итерации (исследуемый метод)		Узловые уравнения напряжений решённые методом Ньютона (RastrWin3)	
Степень утяжеления	Количество итераций	Степень утяжеления	Количество итераций
1	4	1	1
2	7	2	1
3	9	3	2
4	13	4	2
5	29	5	3
6	Режим разошелся	6	Режим разошелся

Таблица 2. Результаты сходимости при увеличении нагрузки в узлах.

Обращённые узловые уравнения напряжений решённые методом простой итерации (исследуемый метод)		Узловые уравнения напряжений решённые методом Ньютона (RastrWin3)	
Напряжение в балансирующем узле	Количество итераций	Напряжение в балансирующем узле	Количество итераций
359	4	359	1
300	6	300	1
250	7	250	2
200	10	200	2
150	Режим разошелся	150	Режим разошелся

Плюсы рассмотренного метода: полученные уравнения имеют простое и понятное представление, благодаря этому расчет методом узловых уравнений легко запрограммировать. К недостаткам можно отнести сходимость данного метода, особенно при расчетах утяжеленных режимов, на вычисление которых может потребоваться до нескольких десятков итераций, для достижения требуемой точности расчета. При расчете объемной схемы это может сказаться на точности расчетов и потребовать значительных вычислительных мощностей.

Литература

1. Электрические системы и сети: Учебник/ Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычёв П.В. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.
2. Шиманская Т. А. Методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». – Мн.: БНТУ, 2010.

УДК 621.315

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТЭЦ

Шубенок Д. И.

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

Распределительные устройства генераторного напряжения (ГРУ) теплоэлектростанции (ТЭЦ) выполняются, как правило, с одной системой сборных шин.

Ранее при проектировании ТЭЦ особенно при большом числе присоединений генераторного напряжения, широко использовали схему с двумя системами сборных шин.

Блочная часть ТЭЦ выполняется аналогично схемам КЭС. Такое решение является единственным для электростанций с блоками мощностью более 100 МВт.

Проведем исследование надежности схемы ТЭЦ с помощью программы “ТОPAS”.

Пакет прикладных программ “ТОPAS” позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя распределительные устройства любого класса напряжения, генераторные присоединения, высоковольтные линии электропередачи, присоединения резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторы связи между ними.

Данная программа предназначена для вычисления частот и длительностей возможных аварийных режимов схемы, сопровождающимся отключением от сети генераторов, воздушных линий, трансформаторов связей и др.

Функциональная модель расчета установившихся режимов генерации мощности учитывает пропускные способности трансформаторов и автотрансформаторов, воздушных линий связи с системой (по критерию запаса статической устойчивости работы генераторов).

Вычисление логических показателей надежности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций) $C(k)$, приводящих к отказу ее функционирования k -го вида [1, с.59]

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_s L(i, j, s, k), \quad (1)$$

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

Вычисление частот отказов функционирования k -го вида $\lambda(k)$ и длительности аварийного восстановления $T(k)$ в общем случае осуществляется по выражениям [4, с.59]

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

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

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; $t_{оп}$ – время оперативных переключений, ч; $Q(s/i)$ – вероятность отказа в срабатывании релейной защиты или коммутационного аппарата.

Коэффициент неготовности потребителей K_n вычисляется по выражению [1, с. 73]

$$K_n = \frac{T(k) \lambda}{8760} \quad (4)$$

Эффективный способ описания схем электрических соединений достигается при использовании коммутационного графа, ветвями которого являются коммутационные аппараты различных типов, а узлами – остальные связываемые ими элементы схемы. Достоинство главного графа состоит в том, что он обеспечивает необходимую точность топологической модели, простоту описания состояния схемы и возможность перехода к любому другому графу в конкретных задачах исследования схем.

Для демонстрации работы программы приведем пример расчета ТЭЦ с установленной мощностью 730 МВт с тремя классами напряжения (рисунок 1). Данная электрическая схема имеет 4 генератора Г1, Г2 мощностью по 200 МВт, подключенные к блочным трансформаторам Т1, Т2 по 200 МВА, которые в свою очередь через ошиновку соответственно подключены к выключателям и Г3, Г4 мощностью по 165 МВт, подключенные к шинам 10 кВ, которые связывает секционный выключатель. Распределительное устройство 110 кВ имеет двойную секцию шин с обходной, к которой присоединены 9 линий, пускорезервный трансформатор собственных нужд, два трехобмоточных трансформатора связи два блочных трансформатора. От Т3 и Т4 запитываются шины 10 кВ и шины 35 кВ, имеющие схему мостика и две отходящих линии по 50 км.

После введения всех необходимых данных и их расчета в программе, появляется файл с соответствующими результатами (ниже будет приведена лишь основная часть):

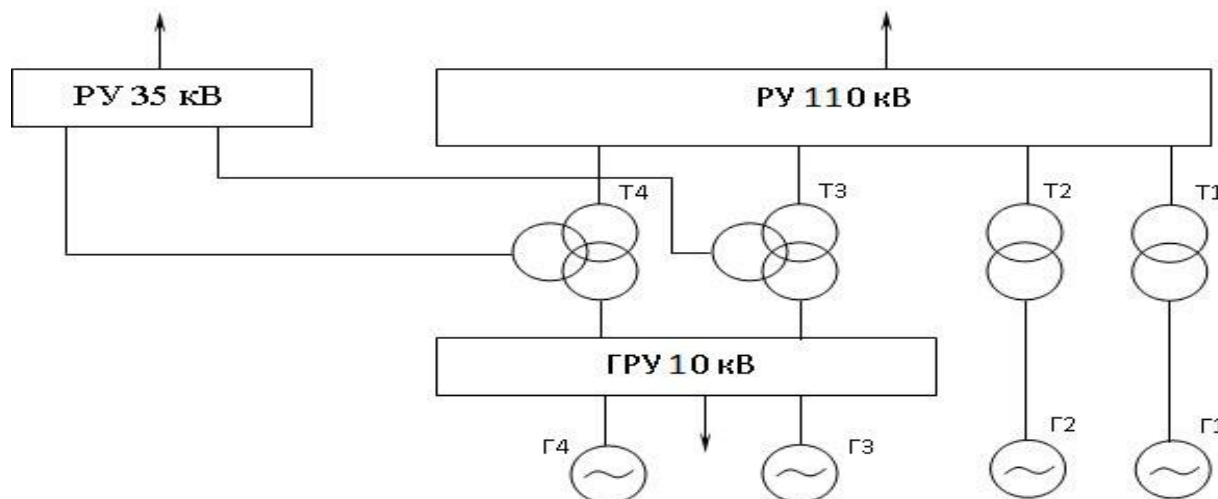


Рисунок 1 Главная схема электрических соединений ТЭЦ

Таблица 1 Результаты анализа надёжности

Код аварии	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч
2Г 9Л	2,01	45,41
4Г 11Л	0,0199	4,85

Примечание: В укрупненных кодах запись 2Г означает потерю любых двух генераторов, запись 2Г 9Л – отключение одновременно двух любых генераторов и девяти воздушных линий.

Посчитаем K_n для двух вариантов (выделенные коды аварии):

5. Отключены 2Г 9Л

$$K_n = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{45,41 \cdot 2,01}{8760} = 0,01$$

6. Отключены 4Г 11Л

$$K_{\text{н}} = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{4,85 \cdot 0,0199}{8760} = 0,000011$$

Исходя из полученных результатов можно сказать, что полное погашение ТЭЦ является маловероятным событием.

Литература

1. Балаков Ю.Н. Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 288 с.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. редактор А.И. Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

УДК 621.311

НАВЕДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ

Савицкий Н.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

Грозозащитные тросы являются наиболее широко распространенным средством защиты воздушных линий напряжением 35 кВ и выше от прямых ударов молнии. Однако и по сей день ведутся споры об эффективности их применения на линиях электропередачи. В данной работе рассмотрены основные параметры грозозащитных тросов и особенности их эксплуатации, а также сделана попытка оценки эффективности применения тросов на воздушных линиях в условиях Республики Беларусь.

При проектировании ВЛ большое внимание следует уделять правильному выбору площади поперечного сечения грозозащитных тросов. Правильно выбранный трос не оборвется при сложных погодных условиях и не приведет к замыканию линии и другим неблагоприятным последствиям. Критерием выбора поперечного сечения тросов является обеспечение механической прочности троса при определенных нагрузках.

При расчете грозозащитного троса на механическую прочность можно пользоваться методом допускаемых напряжений. По этому методу вначале определяется напряжение σ_T в материале троса в грозовом режиме (температура +15°C, скорость ветра 10 м/с и отсутствие гололеда), при котором еще соблюдается допустимое расстояние $h_{пт}$ между тросом и проводом в середине пролета. σ_T определяется по следующему выражению:

$$\sigma_T = \frac{\gamma_T}{\frac{\gamma_{п}}{\sigma_{п}} + \frac{8(\Delta h - h_{пт})}{l^2}}; \quad (1)$$

где γ_T – удельная механическая нагрузка от действия собственного веса троса и горизонтальной нагрузки от давления ветра со скоростью 10 м/с на трос без гололеда; $\gamma_{п}$ – удельная механическая нагрузка от действия собственного веса провода и горизонтальной нагрузки от давления ветра со скоростью 10 м/с на провод без гололеда; $\sigma_{п}$ – напряжение в материале провода в грозовом режиме; Δh – разность высот точек подвеса провода и троса на опоре; l – длина пролета.

По приведенному выше выражению с учетом этих требований находят значение σ_T , после чего определяется напряжение в материале троса в грозовом режиме при трех различных режимах: минимальных температур, среднегодовых нагрузок и максимальных температур.

Допустимые токи КЗ по условиям термической стойкости определяются по выражению:

$$I_{доп} = \frac{(F_T \sqrt{A_T - A_0}) \cdot 10^{-3}}{\sqrt{t}} = \frac{72,8 F_T \cdot 10^{-3}}{\sqrt{t}}; \quad (2)$$

где F_T – площадь поперечного сечения троса, мм²; A_T – величина, зависящая от температуры троса после короткого замыкания (при $\tau=400$ °С $A_T = 0,6 \cdot 10^4 A^2 \cdot c/мм^2$); A_0 – величина, зависящая от температуры троса до короткого замыкания (при $\tau=25$ °С $A_0 = 0,07 \cdot 10^4 A^2 \cdot c/мм^2$); t – продолжительность действия тока короткого замыкания, с.

Крепление троса к металлическим и железобетонным промежуточным опорам линий 35—110 кВ осуществляется без изоляции троса. На линиях 220 кВ и выше на промежуточных и анкерных опорах и на анкерных металлических и железобетонных опорах

линий 35—110 кВ трос крепится через изолятор, при этом он присоединяется к устройству заземления наглухо или через искровой промежуток.

Для расчета токов короткого замыкания, протекающих через грозозащитный трос, а также для определения потерь энергии в тросе, необходимо составить комплексную схему замещения троса. Параметры этой схемы замещения и соотношения для их определения рассмотрим ниже.

Активное сопротивление участка троса длиной l определяется аналогично сопротивлению провода по выражению:

$$r_T = r_{0T} \cdot l; \tag{3}$$

где r_{0T} – удельное активное сопротивление троса.

Удельное индуктивное сопротивление троса зависит от количества тросов, подвешенных на опоре, а также от материала, из которого они изготовлены. При этом определяется сопротивление петли, образованной тросами и землей.

Для одиночного стального троса выражение для определения x_{0T} имеет вид:

$$x_{0T} = 0,145lg \frac{D_3}{R_T} + x_{0ВН} \text{ [Ом/км]}; \tag{4}$$

где D_3 – глубина возврата тока в земле (для Республики Беларусь можно принять 1000 м); R_T – внешний радиус троса, 10^{-3} м; $x_{0ВН}$ – внутреннее индуктивное сопротивление троса, зависящее от проходящего по нему тока.

Если применяется одиночный сталеалюминиевый трос:

$$x_{0T} = 0,145lg \frac{D_3}{R_{Т.э.}} + 0,016 \text{ [Ом/км]}; \tag{5}$$

где $R_{Т.э.}$ – эквивалентный радиус сталеалюминиевого троса.

Под действием электромагнитного поля фазных проводов на грозозащитных тросах возникают наведенные напряжения, которые можно условно разделить на две составляющие – электростатическую и электромагнитную.

Напряжения фазных проводов (U_A, U_B, U_C) и наведенные напряжения на одном (U_{T1}) или двух (U_{T1}, U_{T2}) тросах связаны системой уравнений Максвелла:

$$\begin{cases} \underline{U}_A = \alpha_{11}\underline{q}_A + \alpha_{12}\underline{q}_B + \alpha_{13}\underline{q}_C; \\ \underline{U}_B = \alpha_{21}\underline{q}_A + \alpha_{22}\underline{q}_B + \alpha_{23}\underline{q}_C; \\ \underline{U}_C = \alpha_{31}\underline{q}_A + \alpha_{32}\underline{q}_B + \alpha_{33}\underline{q}_C; \\ \underline{U}_{T_1} = \alpha_{1T_1}\underline{q}_A + \alpha_{2T_1}\underline{q}_B + \alpha_{3T_1}\underline{q}_C; \\ \underline{U}_{T_2} = \alpha_{1T_2}\underline{q}_A + \alpha_{2T_2}\underline{q}_B + \alpha_{3T_2}\underline{q}_C, \end{cases} \tag{6}$$

где α_{ij} – потенциальные коэффициенты;

$\underline{q}_A, \underline{q}_B, \underline{q}_C$ – заряды фазных проводов.

Расчеты, произведенные по формуле (1.6) дали следующие значения наведенных напряжений: для линий 35 кВ – 5,1-6,5 кВ; для линий 110 кВ – 12,3-14,5 кВ; для линий 220 кВ – 22,6-34,5 кВ; для линий 330 кВ – 24,9-43,7 кВ; для линий 750 кВ – 75,1 кВ.

Наведенные электромагнитные напряжения зависят от протекающего по фазным проводам тока и определяются как:

$$\underline{E}_T = j0,145 \sum_{i=1}^3 I_i lg \frac{D_3}{D_{iT}} \text{ [В/км]}, \tag{7}$$

где I_i – сила тока в проводе i -й фазы линии, А ($i = 1, 2, 3$); D_{iT} – расстояние между проводом i -й фазы и тросом, м; D_3 – эквивалентная глубина прохождения обратного тока в земле (для территории Республики Беларусь может быть принята 1000 м).

Значения E_T лежат в пределах: $0,039I_1-0,054I_1$ для линий 110 кВ; $0,026I_1-0,046I_1$ для линий 220 кВ; $0,034I_1-0,041I_1$ для линий 330 кВ; $0,020I_1-0,034I_1$ для линий 750 кВ.

В грозозащитном тросе имеют место потери электрической энергии, которые вызывают его нагрев. Сильный нагрев троса может привести к нарушению допустимого габарита между тросом и фазными проводами и вызвать возникновение аварийной ситуации. В связи с этим необходимо обращать внимание на потери мощности в грозозащитных тросах еще на этапе проектирования, особенно при сильной загруженности линий.

Потери электрической энергии ΔW_T в грозозащитных тросах можно приближенно определить как:

$$\Delta W_T = \Delta P_T l_{\pi} \tau; \quad (8)$$

где ΔP_T – потери активной мощности в тросе, приходящиеся на 1 км длины, кВт/км; l_{π} – длина линии; τ – время потерь, ч (определяется из графика нагрузки линии).

Значения потерь электроэнергии в тросах сильно зависят от нагрузки линии и изменяются в пределах: $0,013-0,22$ кВт/км для линий 35 кВ; $0,013-0,31$ кВт/км для линий 110 кВ; $0,04-0,75$ кВт/км для линий 220 кВ; $0,054-0,78$ кВт/км для линий 330 кВ.

В настоящий момент тросы широко используются для организации каналов связи с помощью оптического кабеля. Оптические кабели могут быть встроенными в грозозащитный трос или же навиваться на него. Последние имеют существенный недостаток – в зимнее время они увеличивают гололедную нагрузку на грозозащитный трос, причем на тросах малого сечения (ТК8; ТК9,1) это увеличение составляет порядка 38-67%.

Далее была произведена оценка надежности линий, оснащенных грозозащитными тросами и без них в условиях Республики Беларусь. Для этого было определено число грозовых отключений по формулам:

для линий с тросами

$$n = n_1 + n_2 + n_3; \quad (9)$$

где n_1 – число отключений линии при прорыве молнии через тросовую защиту на провод и последующих перекрытиях изоляции с провода на опору; n_2 – количество отключений при ударах молнии в опору и перекрытиях изоляции с опоры на провод; n_3 – число отключений при ударе молнии в трос в середине пролета.

для линий без тросов

$$n_{б.т} = n'_1 + n_2 + n_4; \quad (10)$$

где n'_1 – количество отключений линии при прямых ударах молнии в провод и перекрытии изоляции с провода на опору; n_4 – количество отключений вследствие индуктированных перенапряжений и перекрытия изоляции с провода на опору (учитывается для линий напряжением до 35 кВ).

При сравнении полученных значений оказалось, что число отключений для линий без тросов превышает аналогичный показатель для линий 110 кВ – в 1,73-1,93 раза; для линий 220 кВ – в 1,36-1,73 раза; для линий 330 кВ – в 1,24-1,61 раза.

На основе метода многоцелевой оптимизации было произведено сравнение целесообразности сооружения линий с грозозащитными тросами и без них.

Таблица 1- Значения критерия оптимизации E

Значения ε варианта	Критерий оптимизации E для линий напряжением, кВ					
	110		220		330	
	с тросом	без троса	с тросом	без троса	с тросом	без троса
$\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3$ (все цели равнозначны)	0,90	0,97	0,90	0,98	0,95	0,98
$\varepsilon_1=0,6$ $\varepsilon_2=0,2$ $\varepsilon_3=0,2$ (предпочтительнее минимум затрат)	0,82	0,98	0,82	0,99	0,91	0,99
$\varepsilon_1=0,6$ $\varepsilon_2=0,2$ $\varepsilon_3=0,2$ (предпочтительнее максимум надежности)	0,94	0,98	0,94	0,99	0,97	0,99
$\varepsilon_1=0,6$ $\varepsilon_2=0,2$ $\varepsilon_3=0,2$ (предпочтительнее сохранение коммутационного ресурса)	0,66	0,55	0,66	0,56	0,63	0,57

Как видно из таблицы 1, очень значительную роль в выборе окончательного варианта играет то, какой цели мы хотим достичь прежде всего. При равноценности всех вышеперечисленных целей линии 110...220 кВ предпочтительнее делать без грозозащитного троса, в то же время для линий 330 кВ практически не имеет значения наличие или отсутствие грозозащитного троса. При первоочередности минимума капитальных затрат, конечно же, будет лучшим вариант сооружения линий без тросов, однако, опять же, на линиях 330 кВ преимущество не так очевидно. Линии с грозозащитными тросами могут быть более предпочтительны для обеспечения максимума надежности или сохранения коммутационного ресурса выключателей.

Литература

1. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей/ М.А. Короткевич.– Минск: Вышэйшая школа, 2012.–512с.
2. Короткевич, М. А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть/ М.А. Короткевич.– Минск: Вышэйшая школа, 2010.–574с.
3. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/ Под ред. И. А. Баумштейна, С. А. Бажанова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 768 с.

УДК 621.311

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СООРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОПОРАХ ИЗ МНОГОГРАННЫХ ГНУТЫХ СТОЕК

Шлепикова А.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

На протяжении последних лет в электросетевом строительстве стран СНГ всё чаще стали применять опоры линий электропередачи из многогранных гнутых стоек (МГС). Такие стойки используются в цепях всех классов напряжений в качестве промежуточных и анкерных опор, порталов распределительных устройств и т.п.

Рассмотрено конструктивное устройство и общая технологическая цепочка производства многогранных гнутых стоек. Приводятся важные положительные стороны конструкций на основе МГС, а также их конструкционные, монтажные и эксплуатационные недостатки.

Проведен расчет основных параметров механической части воздушной линии электропередачи, определены удельные нагрузки на фазные провода и тросы, рассчитаны вертикальные и горизонтальные нагрузки, воздействующие на промежуточные и анкерные опоры в нормальном и аварийных (обрыв провода или троса) режимах.

Проведена проверка многогранного профиля на прочность, общую и местную устойчивость. Стойка рассматривается как стержень кусочно-постоянного сечения, состоящий из пяти участков.

Выполнена расстановка металлических опор и опор из многогранных гнутых стоек по профилю трассы. Применение МГС позволило на 16% снизить суммарный вес опор по сравнению с традиционным вариантом из решетчатых опор.

Для оценки целесообразности применения опор из гнутых стоек по сравнению с решетчатыми металлическими выполняется многоцелевая оптимизация. В качестве локальных критериев рассмотрены следующие параметры: минимум приведенных затрат, максимум удобства монтажа проводов и установки опор, максимум надежности, максимум безопасности обслуживания.

Проведено технико-экономическое сравнение промежуточных опор воздушной линии напряжением 110 кВ с опорами решетчатого исполнения и с многогранными гнутыми стойками. Применение опор из МГС позволяет снизить стоимость строительства линии на 15%, вследствие чего снижается себестоимость передачи электроэнергии. Срок строительства линии на опорах из МГС уменьшается в 4 раза.

Литература

1. Короткевич, М.А. Монтаж электрических сетей: учебное пособие / М.А. Короткевич. – Минск: Выш. шк., 2012. – 512с.: ил.
2. Короткевич, М.А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть: учебное пособие / М.А. Короткевич. – Минск: Выш. шк., 2010. – 574 с.: ил.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ Г.МИНСКА

Мосевич С.О.

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

Ввод атомной электростанции приведет к большому избытку мощности в энергосистеме Беларуси, особенно в ночной минимум. Одним из видов электрической нагрузки, способствующей выравниванию графика нагрузки энергосистемы, могут служить станции для зарядки аккумуляторов электромобилей.

В настоящее время наблюдается увеличение распространения электромобилей во многих странах мира, среди которых лидируют Норвегия, Нидерланды, США, Китай, Гонконг, Швеция, Исландия.

Проблема, сдерживающая широкое распространение электромобилей, заключается в их высокой стоимости по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания за счет стоимости аккумуляторных батарей. Сравняться цены смогут не ранее, чем через 5 лет. За это время снизится стоимость производства аккумуляторных батарей, а развивающиеся технологии помогут увеличить их ресурс и емкость. Запас хода современных моделей электромобилей превышает 300км на одном заряде

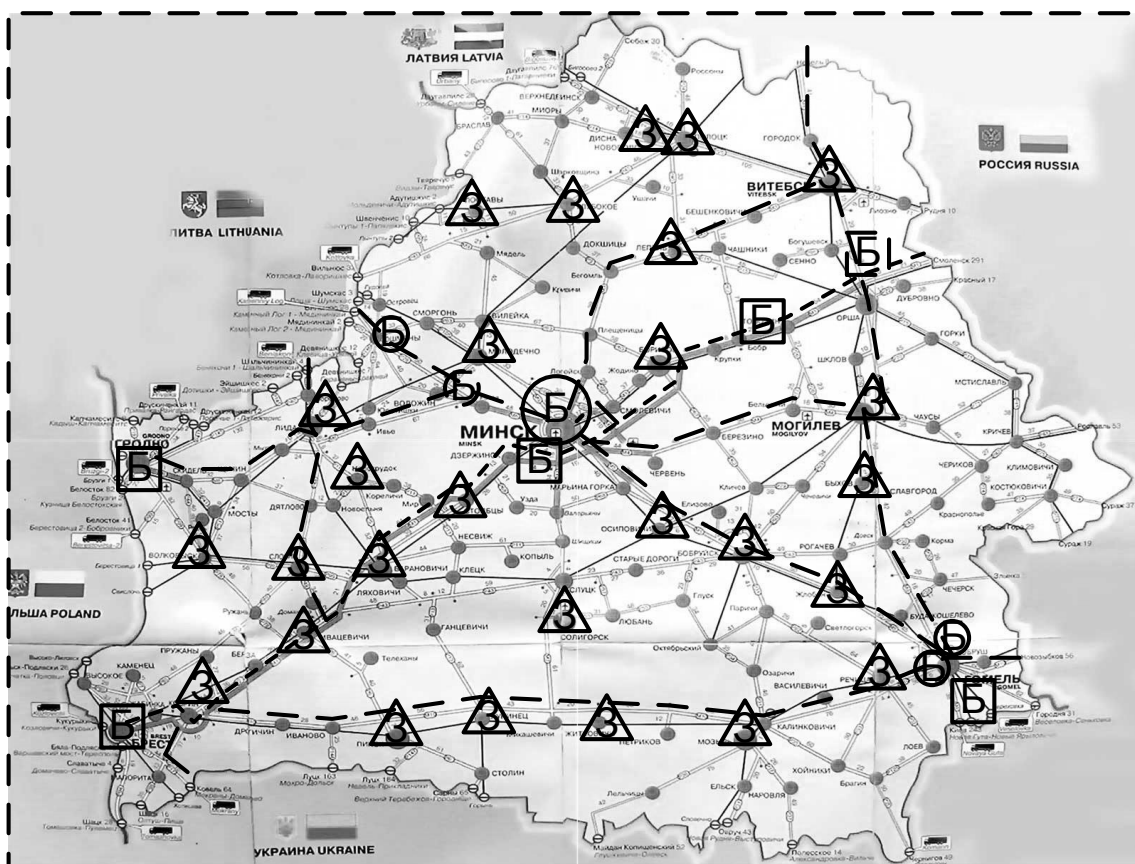
Нормальная зарядка аккумуляторной батареи осуществляется от бытовой электрической сети мощностью 3-3,5 кВт, и предполагает установку на электромобиле специального зарядного устройства, продолжительность полной зарядки батареи составляет 8 часов. Ускоренная зарядка аккумуляторной батареи производится на специальных станциях мощностью до 150 кВт, продолжительность зарядки до 80% емкости батареи составляет 30 минут.

Для Беларуси актуальная проблема распространения электромобилей – отсутствие зарядных станций, однако эта проблема решается. В 2016 году откроется 6 зарядных установок, большинство которых будут расположены на трассе М-1. Компания Беларуснефть планирует строительство 35 скоростных зарядных станций на своих автозаправочных станциях (АЗС) до 2020 года. На рисунке 1 представлена схема с планируемыми зарядными станциями на АЗС «Беларуснефть». На начальном этапе следует заинтересовать владельцев заправочных сетей участвовать в развитии инфраструктуры для электромобилей. Дальнейший этап развития будет заключаться в установке зарядных станций во дворах жилых домов. При этом следует уже сейчас внести в проекты строительства жилых комплексов установки для зарядки электромобилей. Причем в жилых кварталах следует устанавливать розетки на 16А, на которые будет подаваться напряжение лишь в часы снижения электрической нагрузки энергосистемы. Это позволит плавно набирать нагрузку и растягивать режим зарядки на все время ночного минимума. При необходимости скоростной зарядки владельцам электромобилей можно будет отправиться на АЗС.

В ходе проведенных исследований было выявлено, что электрические сети г.Минска и силовое оборудование подстанций смогут нести дополнительную нагрузку станций для зарядки аккумуляторов электромобилей без замены оборудования. Лишь Фрунзенский район Минска может создать серьезную нагрузку на действующую систему электроснабжения. Оборудование остальных районов слабо загружено и выбрано с большим запасом по пропускной способности. В таблице 1 приведено количество парковочных мест, которые могут быть оборудованы зарядными станциями при соотношении 1 место на 6 человек, и создаваемая нагрузка при 3.5 кВт на место.

За основу для расчетов было взято количество обустроенных парковочных мест и население районов г. Минска. Расчеты велись для сетей напряжением 110кВ. При широком распространении электромобилей понадобится более точный и тщательный анализ

пропускной способности для электрооборудования 10/0.4кВ, т.к. его загрузка может быть крайне неравномерна в зависимости от района города. Наиболее загруженными должны оказаться преимущественно жилые районы с более обеспеченным населением и большим количеством мест для парковки.



⊕ - действующие зарядные станции

⊞ - зарядные станции, планируемые в запуску в 2016 году

⊚ - зарядные станции, планируемые к запуску до 2020 года

Рисунок 1 - схема с планируемыми зарядными станциями на автозаправочных станциях «Беларуснефт»

В ходе исследования также было замечено, что при зарядке электромобилей по единому тарифу для населения, выработка энергии может быть убыточной из-за субсидирования тарифов на электроэнергию для населения. Но с вводом АЭС, возможно, себестоимость производства электроэнергии снизится, тогда не будет необходимости увеличивать тариф для получения выгоды от ее выработки.

Использование электромобилей для ликвидации избытка электроэнергии и выравнивания графика нагрузки – наиболее логичный способ, в отличие от использования электродвигателей при наличии ТЭЦ, замены газовых плит на электрические, которые не будут нагружать сеть в часы минимума нагрузки. Но из-за низких доходов населения скорого распространения электромобилей в стране ждать не стоит.

Многие развитые страны дают материальную поддержку и льготы для людей, желающих купить электромобиль. В нашей стране ничего подобного нет, электромобиль облагается таможенными пошлинами и платежами, которые значительно увеличивают его стоимость. Этот вопрос можно решить лишь на уровне правительства.

Таблица 1– Количество парковочных мест и электрическая нагрузка

Район г. Минска	Население района, чел	Кол-во парковочных мест, шт	Создаваемая электрическая нагрузка, МВт
Заводской	236826	39 471	138
Ленинский	217130	36 188	127
Московский	284531	47 422	166
Октябрьский	157511	26 252	92
Партизанский	97697	16 283	57
Первомайский	221921	36 987	129
Советский	161572	26 929	94
Фрунзенский	451809	75 302	264
Центральный	109283	18 214	64
Сумма	1938280	323 047	1131

Стоит рассмотреть возможность не просто покупки электромобилей за рубежом, а организовать производство совместно с Китайской Народной Республикой, которая выбивается в лидеры по производству электромобилей и будет заинтересована в расширении рынка сбыта. Беларусь может стать сборочным цехом электромобилей для Европы и России, это положительно отразится на ее экономике.

Есть такое мнение, что в будущем нам не нужны будут личные автомобили, которыми мы пользуемся в среднем час в день. Их заменят электромобили напрокат с автопилотом. Эти машины можно будет заказать через приложение на смартфоне, они сами будут подъезжать к дому, можно будет создавать совместные поездки при следовании по схожему маршруту совершенно с разными людьми. Это будет значительно дешевле, чем содержать свой личный электромобиль и позволит использовать транспорт более рационально. А для энергетики это будет дополнительной прибылью от реализации электроэнергии.

Литература

1. "Электромобиль: техника и экономика", В. А. Щетина, Ю. Я. Морговский, Б. И. Центер, В. А. Богомазов, Ленинград, 1987г., Машиностроение

УДК 621.311

УЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Печко А.С.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Прокопенко В.Г.

Известно, что задача оптимизации режимов энергосистем по напряжению и реактивной мощности является весьма эффективным мероприятием по улучшению технико-экономических показателей работы электрических сетей. Она не связана с дополнительными капитальными затратами и относится к числу первоочередных, решаемых в энергосистемах.

Известные алгоритмы решения данной задачи формулируют её как

$$\min [\Delta P(K, Q) / K, Q \in R],$$

где ΔP суммарные потери активной мощности в расчетной схеме сети; K, Q векторы независимых переменных: коэффициентов трансформации автотрансформаторов связи и реактивных мощностей источников; R – область допустимых решений, ограниченная равенствами и неравенствами технических ограничений[1].

Основным режимным ограничением являются величины напряжений узлов расчетной схемы сети.

Для решения данной задачи применяется ряд оптимизационных методов, учитывающих дискретность и непрерывность изменения переменных. Алгоритмы предусматривают поочерёдное изменение векторов переменных, например, первым изменяется вектор K , а вторым – вектор Q или наоборот. В обоих случаях задача как-то решается: потери снижаются, но на разную величину и при этом напряжение в ряде узлов схемы сети достигают допустимых пределов.

Для более точного решения задачи разработан алгоритм на основе использования пошагового метода оптимизации с анализом предыстории[2].

Оптимизационный расчет выполняется в следующем порядке:

А) по результатам пошаговых сравнительных расчетов режимов сети выбирается коэффициент трансформации, который в наибольшей степени уменьшает величину потерь мощности в сети и при этом рассчитывается суммарное изменение напряжений узлов схемы сети соответственно между исходным режимом и режимом при коэффициенте трансформации трансформатора, который дал наибольшее снижение потерь мощности;

Б) по результатам пошаговых сравнительных расчетов режимов сети выбирается источник реактивной мощности, который в наибольшей степени уменьшает величину потерь мощности в схеме сети при условии, что изменение мощности его приводит к суммарному изменению напряжений узлов схемы сети, равному по величине от изменения коэффициента трансформации, выбранного на предыдущем этапе расчёта;

В) сравниваются два решения и выбирается оптимальное и далее оптимизационный расчет повторяется.

Приведем пример реализации данного метода на замкнутой электрической сети со следующими параметрами: номинальные напряжения 330, 220 и 110 кВ, число узлов-25, суммарная протяженность линий-1549 км, суммарная нагрузка потребителей- $837+j498$ МВА, генерация реактивной мощности в 3 узлах - $100+j(0\div 100)$, $50+j(0\div 100)$, $+j(0\div 50)$, количество автотрансформаторов-5. Проведём анализ каждого шага.

Расчет режимов сети производим с помощью известной программы «RASTR».

Суммарные потери активной мощности в сети в исходном режиме составляют 24.59 МВт.

1-ый шаг оптимизации.

Таблица 1. Результаты расчётов по выбору оптимального коэффициента трансформации

№ трансформатора	1	2	3	4	5
Значения K_t в исходном режиме	0,733	0,733	0,526	0,526	0,526
Значения K_t после оптимизации на ступень регулирования	0,735	0,735	0,536	0,536	0,536
Снижение потерь мощности относительно исходного значения, МВт	0,05	0,1	0,06	0,07	0,12

Как видно из таблицы 1 к наибольшему снижению потерь мощности привел трансформатор 5 с коэффициентом трансформации 0,536 и снижением потерь мощности-0,12 МВт, при этом суммарные изменения напряжений составили-14,74 кВ.

Таблица 2. Результаты расчета по выбору оптимальной реактивной мощности источника.

№ узла	1	2	3
Исходные значения реактивной мощности источника, Мвар	25	25	50
Значения реактивной мощности источника после оптимизации на первом шаге, Мвар	32.9	33	57
Снижение потерь мощности, МВт	0,43	0,32	0,23

Как видно из таблицы 2 к наибольшему снижению потерь мощности привел источник реактивной мощности в узле 1 с Q-32.9 Мвар и снижением потерь мощности-0,43 МВт, при этом суммарные изменения напряжений составили 14,5 кВ.

При расчете принималось, что разность изменения суммарных значений напряжений при выборе оптимального коэффициента трансформации трансформатора и при выборе оптимального значения генерируемой реактивной мощности в узле не превышал 1%.

В конце первого шага наблюдаем, что изменение реактивной мощности источника в узле 1 дает больший эффект снижения потерь нежели оптимально выбранный коэффициент трансформации трансформатора. На основании анализа расчетов 1-ого шага оптимизации вносим в рассчитанную схему электрической сети новое значение реактивной мощности в узле 1, переходим на второй шаг оптимизации и повторяем расчет.

На втором и третьем шаге при однотипности реализуемых операций оптимизации коэффициентов трансформации и источников реактивной мощности наблюдаем схожую ситуацию. Источник реактивной мощности в узле 1 дал больше значение снижения потерь мощности, чем оптимально выбранный коэффициент трансформации на данном шаге.

Результаты последующих оптимизационных расчетов представим в таблице 3 и таблице 4.

Таблица 3. Результаты расчетов оптимального коэффициента трансформации и оптимального узла с источником реактивной мощности 2 и 3 шага оптимизации.

№ шага	2		3	
№ оптимального трансформатора/источника	5	1	5	1
Значения Кт/Q после оптимизации, о.е./Мвар	0,536	40	0,536	48
Снижение потерь мощности относительно исходного режима, МВт	0,16	0,41	0,18	0,4
Суммарные изменения напряжений, кВ	14,82	14,71	14,83	14,91
Новое значение переменной, о.е./Мвар	40 Мвар		48 Мвар	

На четвёртом шаге наблюдаем схожую ситуацию в которой больший эффект снижения потерь активной мощности дал источник реактивной мощности.

Таблица 4. Результаты расчетов оптимального коэффициента трансформации и оптимального узла с источником реактивной мощности 4 шага оптимизации.

№ шага	4	
№ оптимального трансформатора/источника	5	1
Значения Кт/Q после оптимизации, о.е./Мвар	0,536	56,3
Снижение потерь мощности, МВт	0,15	0,38
Суммарные изменения напряжений, кВ	14,82	14,85
Новое значение переменной, о.е./Мвар	56,3 Мвар	

Оптимизационный расчет закончим после 4-ого оптимизационного шага, поскольку на последующих шагах напряжения в некоторых узлах выходят за допустимые пределы.

Таким образом для рассмотренной схемы сети больший эффект снижения потерь мощности достигнут за счет изменения реактивной мощности источников. Потери активной мощности снизились на 1,41 МВт.

Описанный алгоритм оптимизации полностью формализован и может быть реализован на ЭВМ.

Литература

1. Федин В.Т., Прокопенко В.Г. Планирование характерных режимов электрических сетей 110 – 750 кВ по напряжению и реактивной мощностью.- Электрические станции, 1977, №12.
2. Отчет о нир. Разработать концептуальные основы и эффективные методы и алгоритмы анализа и оптимизации режимов энергосистем по напряжению и реактивной мощности. № г.р. 19981125 / В.Г.Прокопенко, А.А. Золотой. Минск, БНТУ, 1998.

УДК 621.3

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ОАО «ГРОДНО АЗОТ»

Атрашков Д.Г.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Гапанюк С.Г.

ОАО «Гродно Азот» является крупнейшим потребителем электроэнергии в Гродненской области. С каждым годом в сети предприятия всё больше внимания уделяется вопросам в области энергосбережения. Так одна из целей, преследуемая политикой энергосбережения – это достижение минимального значения потерь электроэнергии в сети предприятия.

В качестве объекта исследования рассмотрены распределительные подстанции предприятия, а именно ремонтно механического производства, с двухсменным графиком работы.

На подстанциях установлено по два трансформатора. Потребители, питающиеся от подстанций, относятся ко второй категории по надежности электроснабжения, автоматический ввод резерва (АВР) между вводами отсутствует, и все переключения выполняются оперативным персоналом предприятия, что позволяет вывести из работы один из трансформаторов. Экономическая целесообразность данного мероприятия рассмотрена ниже.

Как известно, суммарные потери мощности в трансформаторах, состоят из потерь холостого хода и нагрузочных потерь. При параллельной работе двух и более трансформаторов на одной подстанции суммарные потери будут зависеть от суммарной нагрузки S подстанции и числа включённых трансформаторов.

При одном трансформаторе суммарные потери находятся по формуле:

$$\Delta P_1 = \Delta P_K + \Delta P_X \left(\frac{S}{S_{НОМ}} \right)^2, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где ΔP_K – потери короткого замыкания, кВт, ΔP_X – активные потери холостого хода, кВт, S – полная мощность, протекающая через трансформатор, кВА, $S_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

а при двух одинаковых трансформаторах:

$$\Delta P_2 = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{\Delta P_K}{2} \left(\frac{S}{S_{НОМ}} \right)^2, \text{ кВт} \quad (2)$$

Зависимости изменения потерь мощности показаны на рисунке 1.

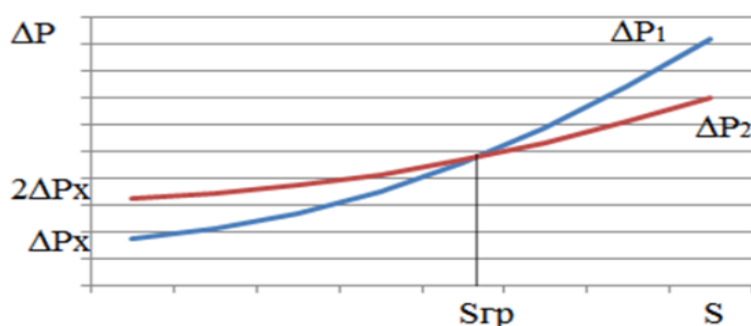


Рисунок 1–Зависимости потерь активной мощности от нагрузки и числа включенных трансформаторов (ΔP_1 , ΔP_2 – суммарные потери, возникающие при работе одного и двух трансформаторов, кВт, S – мощность, передаваемая через трансформатор, кВА.)

Из рисунка 1 мы видим, что при построении зависимостей потерь мощности, при работе одного и двух трансформаторов, имеется некоторая точка, соответствующая граничной мощности $S_{гр}$, которая позволяет сделать вывод, о целесообразности включения в работу одного или двух трансформаторов.

Из уравнений (1) и (2), получим величину граничной мощности:

$$S_{ГР} = S_{НОМ} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_x}{\Delta P_k}}, \text{ кВА} \quad (4)$$

Величина граничной мощности позволяет говорить о оптимальности отдельно взятого режима работы подстанции, однако при расчёте эффективности проведения мероприятия мы должны перейти от потерь мощности к потерям электроэнергии.

Потери электроэнергии при работе двух трансформаторов и одного найдём по формулам (5) и (6).

$$\Delta W_2 = \frac{\Delta P_k}{2} \cdot \left(\frac{S}{S_{НОМ}}\right)^2 \cdot \tau + 2 \cdot \Delta P_x \cdot 8760, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

$$\Delta W_1 = \Delta P_k \cdot \left(\frac{S}{S_{НОМ}}\right)^2 \cdot \tau + \Delta P_x \cdot 8760, \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \quad (6)$$

где τ – время максимальных потерь, ч.

$$\tau = (0,124 + T_{НБ} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \text{ ч}, \quad (7)$$

где $T_{НБ}$ – время использования наибольшей нагрузки.

При построении графиков зависимости потерь электроэнергии при работе двух или одного трансформатора от передаваемой мощности, мы будем видеть несколько другую картину. Точка граничной мощности на таком графике будет лежать выше точки, полученной при расчётах потерь мощности.

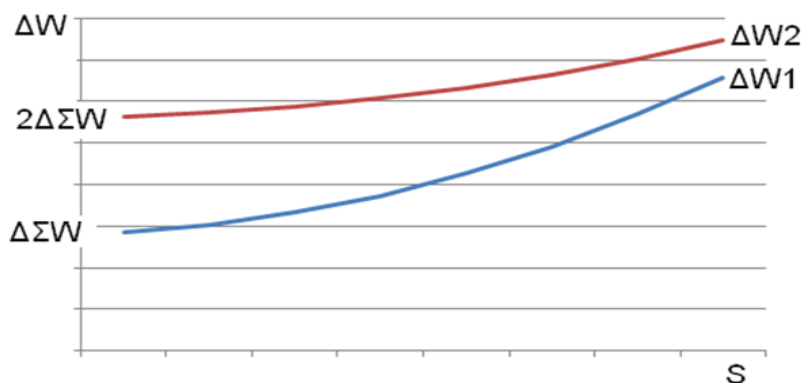


Рисунок 2 – Зависимости потерь электроэнергии от нагрузки и числа включенных трансформаторов при $T_{НБ}=2000$ ч. ($\Delta W_1, \Delta W_2$ – суммарные потери электроэнергии, возникающие при работе одного и двух трансформаторов, кВт·ч, S – мощность, передаваемая через трансформатор, кВА.)

Величина граничной мощности на графиках зависимости потерь электроэнергии от передаваемой мощности будет зависеть от времени максимальных потерь, а соответственно от времени использования наибольшей нагрузки. С уменьшением времени использования наибольшей нагрузки точка граничной мощности будет смещаться вправо и в итоге станет больше номинальной мощности одного трансформатора. Пример потерь электроэнергии в трансформаторах при времени использования наибольшей нагрузки 7000 часов изображён на рисунке 3.

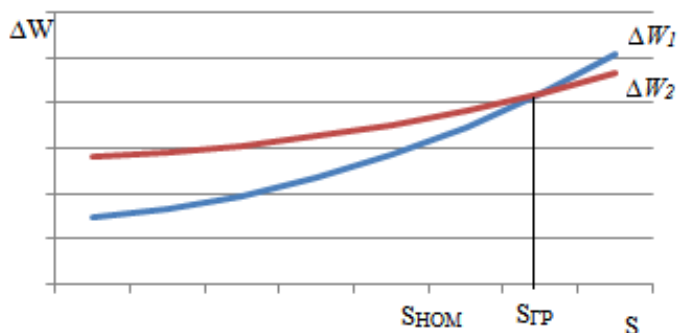


Рисунок 3 – Зависимости потерь электроэнергии от нагрузки и числа включенных трансформаторов при $T_{НБ}=7000$ ч.

Приведём пример расчёта потерь мощности и потерь электроэнергии для подстанции №41. Исходная информация по подстанциям содержится в таблице 1.

Таблица 1 – Исходная информация по подстанциям

Номер подстанции	Тип трансформатора	cosφ	Полная мощность, кВА	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность, квар	Время использования наибольшей нагрузки, ч
№ 41	ТСЗЛ-1000/10	0,62	509,2	315,7	399,5	4000
№ 67	ТМЗ-1000/10	0,65	697,5	453,4	530,1	4400
№ 5	ТМЗ-1000/10	0,65	487,1	381,6	446,2	4400

Таблица 2 – Каталожные данные по трансформаторам

№ п/п	Тип трансформатора	SHOM, кВА	UBH, кВ	UHH, кВ	ΔPxx, кВт	ΔPкз, кВт	Uкз, %
1	ТСЗЛ-1000/10	10	10,5	0,4	2,0	8,8	6
2	ТМЗ-1000/10	10	10,5	0,4	2,45	11	5,5

Для подстанции №41 (работает 1 трансформатор):

$$\Delta P_1 = 2,0 + 8,8 \left(\frac{509,2}{1000} \right)^2 = 2,0 + 2,28 = 4,28 \text{ кВт};$$

Работает 2 трансформатора:

$$\Delta P_2 = 2,0 \cdot 2 + \frac{8,8}{2} \left(\frac{509,2}{1000} \right)^2 = 4 + 1,14 = 5,14 \text{ кВт}.$$

При работе двух трансформаторов на заданной мощности суммарные потери мощности возрастут 0,86 кВт. Граничная мощность составит:

$$S_{гр} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,0}{8,8}} = 674,2 \text{ кВА}$$

Таблица 3 – Результаты расчётов потерь мощностей по подстанциям

Номер подстанции	1 трансформатор			2 трансформатора			Граничная мощность, кВА	Разница, кВт
	Нагрузочные потери, кВт	Потери холостого хода, кВт	Суммарные, кВт	Нагрузочные потери, кВт	Потери холостого хода, кВт	Суммарные, кВт		
41	2,28	2,00	4,28	1,14	4,00	5,1	674,2	0,86
67	5,35	2,45	7,80	2,68	4,90	7,6	667,4	-0,2
5	2,61	2,45	5,06	1,30	4,90	6,2	667,4	1,14

Построим зависимость потерь в трансформаторах подстанции от передаваемой мощности для режимов с одним и двумя включёнными трансформаторами.

Потери мощности ТСЗЛ-1000/10

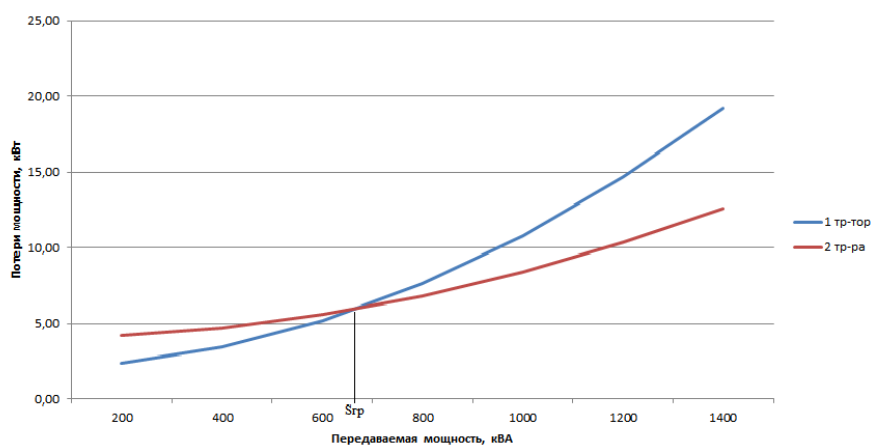


Рисунок 4 – Зависимость суммарных потерь мощности от передаваемой мощности через один и два работающих трансформатора

Для подстанции №41 потери электроэнергии:
 $\tau = (0,124 + 4000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч};$

$$\Delta W_1 = 2,28 \cdot 2405 + 2 \cdot 8760 = 23003, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$\Delta W_2 = 1,14 \cdot 2405 + 2 \cdot 2 \cdot 8760 = 37784, \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

Потери электроэнергии по всем подстанциям сведём таблицу 5.

Таблица 5 – Потери электроэнергии по всем подстанциям

Номер подстанции	1 трансформатор	2 трансформатора	Время максимальных потерь, ч
	Суммарные потери электроэнергии, кВт·ч	Суммарные потери электроэнергии, кВт·ч	
41	23008	37784	2405
67	36377	50381	2787
5	28736	46561	2787

Построим зависимость потерь в трансформаторах подстанции от передаваемой мощности для режимов с одним и двумя включёнными трансформаторами.

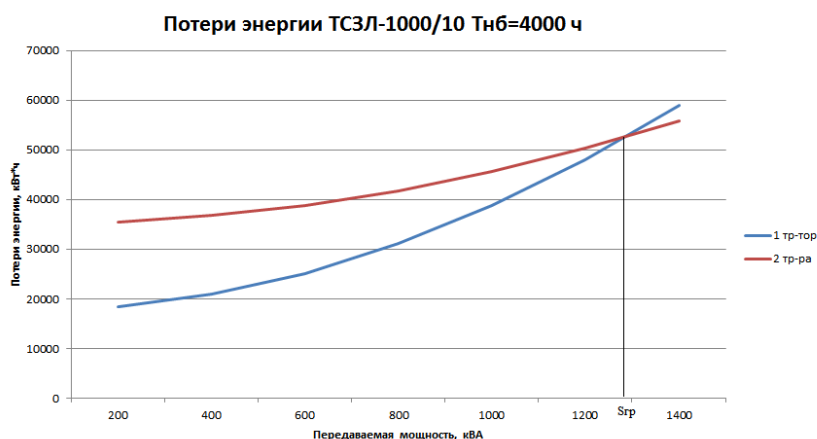


Рисунок 5 – Зависимость суммарных потерь электроэнергии от передаваемой мощности через один и два работающих трансформатора

Анализируя полученные графики зависимостей на рисунках 5 и 4, мы видим, что граничная мощность на рисунке 4 равна приблизительно 670 кВА, т.е. исходя из этого, можно сделать, что при протекании мощности, больше 670 кВА, целесообразно использовать два трансформатора. Так как мощность подстанции №41 равна 509,2 кВА, то целесообразно использовать один трансформатор.

Если же мы посмотрим на рисунок 5, то увидим, что граничная мощность по полученному графику составляет 1290 кВА, что даже больше номинальной мощности трансформатора. То исходя из величины потерь электроэнергии, целесообразно, при заданном значении времени использования максимальной нагрузки, использовать всегда один трансформатор, вплоть до полной загрузки его до номинальной мощности.

После проведения расчётов оказалось, что в год экономия электроэнергии от уменьшения потерь составит 46606 кВт·ч. Графически это отразим на рисунке 7.

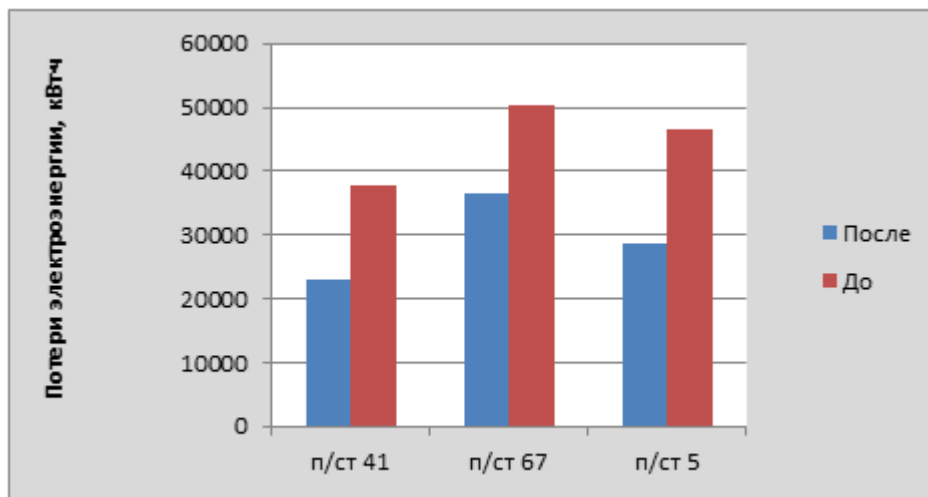


Рисунок 7 – Потери электроэнергии до и после внедрения мероприятия

Литература

1. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/ А.А.Герасименко, В.Т.Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс. 2006г. – 720 с.
2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектированиеб Учебное пособие для втузов – 2-е изд., испр. и доп. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988г. – 308 с.
3. Официальный интернет-сайт ОАО «Гродно Азот». Режим доступа: <http://www.azot.by>.
4. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. В.Э. Воротницкий и др. Минск: Энергоатомиздат 1983г.-368с..

УДК 621.3

ОБЗОР ЭЛЕКТРОСЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «ГРОДНО АЗОТ»

Сытько А.В

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Гапанюк С.Г.

ОАО «Гродно Азот» входит в состав наиболее крупных химических предприятий страны, образующих основу ее нефтехимического комплекса.

В течение ряда последних лет предприятие работает устойчиво, выполняя и перевыполняя все основные прогнозные показатели. Товарный знак ОАО «Гродно Азот» имеет международное признание, зарегистрирован во многих странах.

ОАО «Гродно Азот» является крупнейшим потребителем электроэнергии в Гродненской области, и относится к I-й категории по надежности электроснабжения. Что обуславливает особые требования к структуре электроснабжения: питание от нескольких независимых источников, применение собственных генерирующих источников, применение подстанций аварийного электроснабжения, применение резервных линий между распределительными подстанциями.

Электроснабжение предприятия осуществляется от Энергосистемы (РУП «Гродноэнерго») и от собственных турбогенераторов. Основным внешним поставщиком электрической энергии для потребителей ОАО «Гродно Азот» в настоящее время является Гродненская ТЭЦ-2. Доля электрической энергии, генерируемой собственными источниками предприятия, была весьма незначительна и составляла 6,2 %.

После ввода в эксплуатацию 1-ой и 2-ой очереди ГТЭС доля электроэнергии от собственных генерирующих источников увеличилась до 33,2%. Источниками собственной электроэнергии являются: электрогенератор котельного цеха (6 МВт); генератор в цехе 5/3 (2,5 МВт); газотурбинные установки: 2 очереди (2х8 МВт каждая).

Электрическая энергия на предприятии подведена от гродненской ТЭЦ-2, подстанции 330 кВ «Гродно» и подстанции «Гродно-Южная». Питающая сеть 110 кВ г.Гродно имела кольцевую конфигурацию: кольца сети 110 кВ были организованы между опорными ПС 330кВ «Гродно», ПС «Гродно-Южная» и Гродненской ТЭЦ-2 и работали в замкнутом режиме. В 2006 году построены две двухцепные ВЛ-110 кВ для заводки линий 110кВ «Гродно» и «Гродно Южная» на Гродненскую ТЭЦ-2. Были организованы два независимых полукольца 110 кВ «Гродно-330 – Гродненская ТЭЦ-2 – Гродно Южная», что существенно повысило устойчивость работы технологического оборудования и надежность электроснабжения ОАО «Гродно Азот». Структурная схема электроснабжения ОАО «Гродно Азот» изображена на рисунке 1. Внешняя сеть электроснабжения имеет номинальное напряжение 110 кВ.

Внутризаводская распределительная сеть работает на напряжении 6 кВ и выполнена по радиальной схеме. Выбор номинального напряжения 6 кВ связан с большим количеством применяемого оборудования на предприятии, работающего на данном классе напряжения, а также из-за присутствия химически-активной среды, не позволяющего применять более высокий класс напряжения по соображениям безопасности.

Для понижения напряжения с 110 до 6 кВ служат четыре головные понизительные подстанции: ГПП 0-1, ГПП 0-2, ГПП 0-3, ГПП 0-4. Для питания трансформаторов ГПП-01, ГПП-02, ГПП-03 применены кабельные линии 110 кВ.

Линии выполнены однофазными маслонаполненными кабелями МСАВУ-1*150 среднего давления с медными жилами сечением 150 мм², для питания ГПП-04 служат два ввода воздушной линии, с маркой провода АС 400/51. Установленная мощность трансформаторов головных понизительных подстанций предприятия составляет 458000 кВА. Однако это отнюдь не потребляемая мощность предприятия. Это превышение связано с особенностью ведения технологического процесса на предприятии, который требует наличия определенного оперативного и ремонтного резервов на случай необходимости увеличения мощности производства, вывода в плановый или аварийный ремонт, а также на случай

аварии. Это приводит к тому, что на каждую технологическую позицию электрооборудования имеется 2 и более резервных агрегата. Внутривозовская сеть разделена на 4 района во главе с ГПП, от головных подстанций питаются 44 распределительные трансформаторные подстанции 6 кВ и 57 понижающих подстанций с трансформаторами различной мощности.

В целях увеличения надежности питания электроприемников и обеспечения бесперебойного производственного процесса, электрическая схема предприятия выполнена в виде кольца, то есть все ГПП соединены между собой кабельными линиями (линиями связи), рассчитанными на ток до 1 кА и способными передать до 10 МВт мощности. Это обеспечивает непрерывность электроснабжения той или иной группы электроприемников, возможность вывода в ремонт секций шин и трансформаторов головных подстанции и перераспределения нагрузки между соседними ГПП. Такая схема обеспечивает возможность переключений нагрузок в случае аварийной ситуации (повреждение кабеля, аварии на ТП и другие). Структурная схема электроснабжения изображена на рисунке 1.

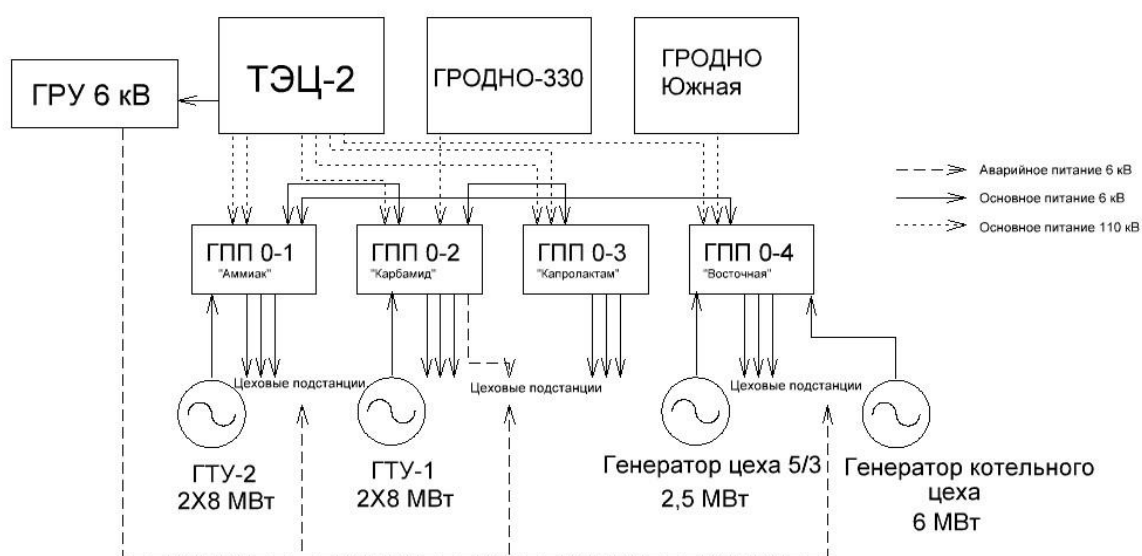


Рисунок 1 – Структурная схема электроснабжения ОАО «Гродно Азот»

Все отходящие потребители 6 кВ и трансформаторные подстанции 6/0,4 кВ питаются по радиальной схеме (рисунок 2) от ГПП.

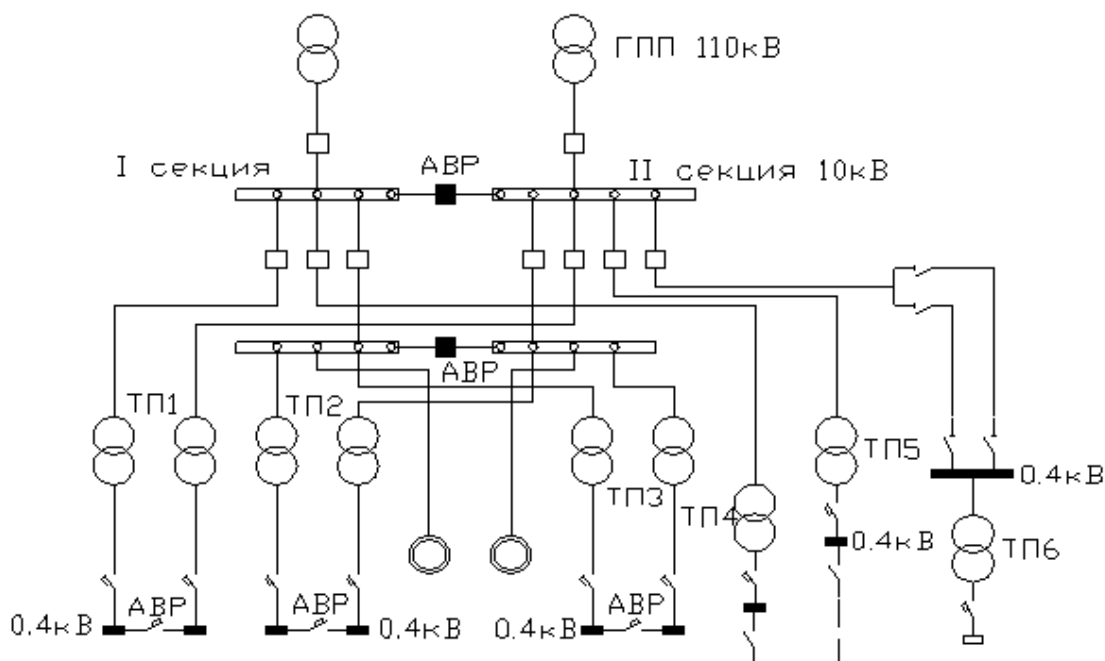


Рисунок 2 – Радиальная сеть предприятия

Радиальная схема питания обладает большой гибкостью и удобствами в эксплуатации, так как повреждение или ремонт одной линии отражается на работе только одного потребителя. Все потребители первой и второй категории (РУ 6 кВ и ТП 6/0,4 кВ) питаются не менее чем по двум отдельно работающим линиям. Помимо этого на предприятии имеются аварийные подстанции 6/0,4 кВ получающие питание от распределительного устройства генераторного напряжения ТЭЦ-2, они служат для питания потребителей отдельной категории, имеющих два основных источника питания и 3 источник - резервный. Внутривзводская распределительная сеть 6 кВ работает в режиме с изолированной нейтралью. К району ГПП 0-1 относится головная ГПП 0-1, состоящая из 4-х секций, и питающихся от них цеховых подстанций. ГПП предназначена для питания электроэнергией цехов Метанола, отделения газового сырья, цеха водоснабжения, водооборотных циклов ВОЦ-5 и ВОЦ-8, средняя потребляемая мощность которых составляет примерно 33 МВт. К с.ш. 6 кВ ГПП 0-1 подключена газотурбинная электростанция ГТЭС-2, мощностью 2x8 МВт.

Питание ГПП 0-1 по стороне 110кВ осуществляется от Гродненской ТЭЦ-2 по двум маслонаполненным кабельным линиям 110кВ по схеме блока «кабельная линия-трансформатор» с глухим подключением к трансформаторам Т-1 и Т-2 63МВА п/ст 0-1. От ГПП 0-1 радиально запитаны семь подстанций с РУ-6 кВ и семь компрессоров единичной мощностью 2X3400 кВт, 2X6000 кВт, 3X5000 кВт на подстанциях ПС-13, ПС-16, ПС-17.

ГПП 0-1 выполнена из ячеек 6 кВ с индивидуальным реактированием на номинальный ток отключения 20 кА, электродинамическая стойкость 51 кА.

Для регистрации аварийных процессов в сетях электроснабжения на ГПП 0-1 используются существующие цифровые регистраторы.

Качество вырабатываемой электроэнергии определяется устройством типа УК-1 с установкой на ГПП 0-1.

На приемных ячейках ГПП 0-1 устанавливаются многотарифные электронные счетчики (с трансформаторами тока класса 0,58) для измерения активной и реактивной энергии и мощности с цифровым интерфейсом К8-485 для возможности вывода в систему учета предприятия. На вводных ячейках ГПП 0-1 измерение энергии и мощности используются существующие многотарифные электронные счетчики на два направления (приема и выдачи).

Учет электроэнергии и передача данных по потреблению и выработке предусматривается по существующим каналам связи.

Существующие выключатели масляные, оперативный ток – постоянный.

К району ГПП 0-2 относится головная ГПП 0-2, состоящая из 4-х секций, и питающихся от них цеховых подстанций. На ГПП 0-2 имеется два трансформатора типа ТДН-40000/110 мощностью 40 МВ·А каждый, получающие питание от ТЭЦ-2 и подстанции «Гродно-330»

Питание ГПП 0-2 осуществляется кабелем 110 кВ от Гродненской ТЭЦ-2 и ВЛ+КЛ 110 кВ от ПС «Гродно 330».

Основными потребителями электроэнергии с шин 6 кВ ГПП 0-2 являются технологические потребители, средняя потребляемая мощность которых составляет примерно 17 МВт.

К секциям шин 6 кВ ГПП0-2 подключена подстанция 6 кВ Газотурбинной электростанции №1 (ГТЭС-1).

От ГПП 0-2 радиально запитаны семь подстанций с РУ-6кВ и три двухтрансформаторные подстанции.

ГПП 0-2 выполнена из камер типа КВЭБ и КВЭГЗ на номинальный ток отключения 30 кА, электродинамическая стойкость 51 кА.

Выключатели типа ВМП-10, оперативный ток – постоянный.

К району ГПП 0-3 относится головная ГПП 0-3, состоящая из 8 секций, и питающихся от них цеховых подстанций, средняя потребляемая мощность которых составляет примерно 32 МВт. На ГПП-03 установлены трансформаторы ТРДЦНК-63000/110 мощностью 63 МВ·А каждый.

В ЗРУ-6 кВ установлены: 8 секций 6 кВ с ячейками КРУ; 8 вводных выключателей и 4 секционных выключателя типа ВМПЭ-10к, номинальный ток 3200А с приводом типа ПЭВ-12А; 4 ячейки секционных разъемов (СР) с разъемами на 2000 А.; 10 ячеек трансформаторов напряжения секций и вводов типа НТМИ-6 с предохранителями ПКТ-10; 35 ячеек КРУ-6 кВ с выключателями ВМПЭ-10; 2 ячейки ТСН, в которых установлены предохранители ПК-30/6.4 сдвоенных реактора типа РБСДГ-2х2500-0,2.

К району ГПП 0-4 относится головная ГПП 0-4, состоящая из 4-х секций, и питающихся от них цеховых подстанций, средняя потребляемая мощность которых составляет примерно 19 МВт. Также в к району ГПП 0-4 относятся питающиеся субабоненты (АЛМИ, Таможня, Троллейбусное депо, ГМЗ).

По нормальной схеме 1 и 2 СШ получают питание от трансформатора мощностью 63 МВ·А типа ТРДЦН-63000/110 115 9х1,78%/6,3кВ с расщепленной обмоткой низкого напряжения. Аналогично 3 и 4 СШ получают питание от трансформатора мощностью 63 МВ·А типа ТРДЦН-63000/110 115 9х1,78%/6.3кВ с расщепленной обмоткой низкого напряжения. 4 СШ ГПП 0-4 также получает питание от генератора ТГ-1 мощностью 2,5 МВт марки Т-2,5-2УЗ, установленного на РУ-6кВ цеха 5/3. 1 СШ ПС №115 получает питание как от головной ГПП 0-4, так и от генератора котельного цеха мощностью 6 МВт, а также имеет аварийный ввод от шин генераторного напряжения ТЭЦ-2.

При выводе в ремонт одного из трансформаторов, либо в аварийной ситуации, секции шин запитываются от смежных секций (смежные секции - 1 и 3, 2 и 4), либо через линию связи 6 кВ от ГПП 0-1. Длительность ремонта трансформатора обычно не превышает 5 суток.

Вывод в ремонт одной из головных секций ГПП 0-4 осуществляется исходя из исключения перетоков мощности на цеховых ПС, поскольку их секции питаются от головных секций, запитанных от разных трансформаторов, которые по высокой стороне гальванически не связаны. Головные секции ГПП 0-4 объединяются через межсекционные выключатели (1 и 3 СШ, 2 и 4 СШ). Производится необходимый перевод реактированных присоединений с выводимой в ремонт секции ГПП 0-4 на другую. Далее отключаются межсекционные выключатели. Все УЗН ГПП 0-4 остаются в работе.

Распределительная сеть 0,4 кВ работает в режиме с глухозаземленной нейтралью.

Ввиду химически активной среды применение магистральных и распределительных шинопроводов, проводов без механической защиты запрещено. Так же запрещено

применение коммутационной и защитной аппаратуры без степени по взрывозащите менее IP54. Немаловажным является принадлежность электроприемников к первой категории, перерыв в электроснабжении которых допускается лишь на время включения АВР. Поэтому в технологических цехах преобладают радиальные схемы питания электроприемников, которые имеют следующие достоинства: высокая степень надежности электроснабжения, радиальная схема конструктивно проста, обеспечивает удобство в обслуживании, а также имеет простую и надежную схему релейной защиты.

Прокладка кабелей от ТП до электроприемников выполнена по эстакадам, в лотках и коробах, установленных на опорных конструкциях-стойках, кронштейнах, а так же открыто по элементам строений. Крепление кабелей к элементам строений осуществляется при помощи скоб и крепов. Число креплений к строительному основанию – два или три на каждый метр трассы.

Наиболее экономичное решение при большом количестве кабелей на одной трассе является сооружение кабельных эстакад и галерей, высота которых определяется типом пересекаемых дорог и сооружений.

Для защиты кабелей от воздействия окружающей среды, предохранения от механических повреждений или в случае скрытой прокладки в элементах сооружений, их заключают в стальные или пластмассовые трубы.

УДК 621.311

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ СХОДИМОСТИ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Янушкевич К.С.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Для расчета режима электрической сети необходимо составить и решить систему уравнений. При большом числе уравнений (~ 100 и более) прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) становятся труднореализуемыми на ЭВМ, прежде всего из-за сложности хранения и обработки матриц большой размерности. Поэтому появляется необходимость использования итерационных методов – методов последовательных приближений, в которых при вычислении последующего приближения решения используются предыдущие, уже известные приближенные решения.

Пусть задана СЛАУ:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 = b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 = b_2 \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 = b_3 \end{cases}$$

или в матричной форме

$$A \cdot X = B,$$

$$\text{где } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}.$$

Необходимо определить неизвестные x_1, x_2 и x_3 . Для этого подготовим систему к решению методом простой итерации:

$$\begin{aligned} x_1^{(k+1)} &= \frac{b_1}{a_{11}} - \left(0 \cdot x_1^{(k)} + \frac{a_{12}}{a_{11}} \cdot x_2^{(k)} + \frac{a_{13}}{a_{11}} \cdot x_3^{(k)} \right) \\ x_2^{(k+1)} &= \frac{b_2}{a_{22}} - \left(\frac{a_{21}}{a_{22}} \cdot x_1^{(k)} + 0 \cdot x_2^{(k)} + \frac{a_{23}}{a_{22}} \cdot x_3^{(k)} \right) \\ x_3^{(k+1)} &= \frac{b_3}{a_{33}} - \left(\frac{a_{31}}{a_{33}} \cdot x_1^{(k)} + \frac{a_{32}}{a_{33}} \cdot x_2^{(k)} + 0 \cdot x_3^{(k)} \right) \end{aligned}$$

или в матричной форме

$$X^{(k+1)} = H \cdot X^{(k)} + G.$$

По методу Якоби находим матрицы коэффициентов приведённой системы уравнений. Для этого представим матрицу A в виде:

$$A = L + D + R,$$

где D - диагональная, L и R – левая и правая строго треугольные (с нулевой диагональю) матрицы

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 0 & a_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

В случае симметричной относительно главной диагонали матрицы A

$$R = L^T.$$

Тогда

$$L \cdot X^{(k)} + D \cdot X^{(k+1)} + R \cdot X^{(k)} = B$$

Или

$$D \cdot X^{(k+1)} = -(L + R) \cdot X^{(k)} + B,$$

$$X^{(k+1)} = -D^{-1} \cdot (L + R) \cdot X^{(k)} + D^{-1} \cdot B.$$

Получаем

$$H = -D^{-1} \cdot (L + R) \text{ и } G = D^{-1} \cdot B.$$

Необходимым и достаточным условием сходимости метода простых итераций при любом начальном векторе $X^{(0)}$ к решению X^* системы является требование, чтобы все собственные значения λ матрицы H были по модулю меньше 1.

Собственные значения матрицы H можно найти по формуле

$$\det(H - E \cdot \lambda) = 0,$$

где E – единичная матрица такой же размерности, что и матрица H .

Следствием этого условия является: для сходимости итерационного процесса по методу простой итерации необходимо и достаточно чтобы все корни z уравнения

$$\begin{vmatrix} a_{11} \cdot z & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} \cdot z & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \cdot z \end{vmatrix} = 0$$

по модулю были бы меньше 1.

Достаточным условием сходимости метода простой итерации является диагональное преобладание в матрице A (каждый диагональный элемент должен быть больше суммы модулей недиагональных элементов соответствующей строки или столбца).

Рассмотрим решение системы уравнений узловых напряжений методом простой итерации

$$Y \cdot U_{\Delta} = J.$$

Пусть известны матрица узловых проводимостей, S_m и матрица задающих токов, K_A :

$$Y_y = \begin{pmatrix} 0.371 & -0.179 & -0.093 & 0 & 0 \\ -0.179 & 0.511 & -0.125 & -0.111 & 0 \\ -0.093 & -0.125 & 0.334 & 0 & -0.116 \\ 0 & -0.111 & 0 & 0.225 & -0.114 \\ 0 & 0 & -0.116 & -0.114 & 0.23 \end{pmatrix} \quad J_y = \begin{pmatrix} 0 \\ -0.316 \\ -0.632 \\ -0.297 \\ 0.421 \end{pmatrix}$$

Необходимо определить падения напряжения в узлах относительно балансирующего.

Определяем матрицу H и ее собственные значения:

$$H = -D^{-1} \cdot (L + R) = \begin{pmatrix} 0 & 0.481 & 0.249 & 0 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0.245 & 0.218 & 0 \\ 0.277 & 0.374 & 0 & 0 & 0.348 \\ 0 & 0.494 & 0 & 0 & 0.506 \\ 0 & 0 & 0.506 & 0.494 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^T = \begin{pmatrix} 0.325 \\ -0.794 \\ -0.418 \\ 0.902 \\ -0.015 \end{pmatrix}$$

Все собственные значения матрицы H по модулю меньше 1. Значит необходимое и достаточное условие выполняется. Матрицы D и $L+R$ положительно определенные, т.к. их определитель положителен

$$D = \begin{pmatrix} 0.371 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.511 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.334 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.225 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.23 \end{pmatrix} \quad |D| = 3.271 \times 10^{-3}$$

$$L + R = \begin{pmatrix} 0 & -0.179 & -0.093 & 0 & 0 \\ -0.179 & 0 & -0.125 & -0.111 & 0 \\ -0.093 & -0.125 & 0 & 0 & -0.116 \\ 0 & -0.111 & 0 & 0 & -0.114 \\ 0 & 0 & -0.116 & -0.114 & 0 \end{pmatrix} \quad |L + R| = 4.827 \times 10^{-6}$$

Организация итерационного процесса:

$k := 1..100$

$$U_{\Delta}^{(k+1)} := G + H \cdot U_{\Delta}^{(k)}$$

Выполним расчеты по методу ускоренной итерации:

Находим матрицы коэффициентов приведенной системы уравнений

$$L \cdot X^{(k+1)} + D \cdot X^{(k+1)} + R \cdot X^{(k)} = B$$

или

$$(L + D) \cdot X^{(k+1)} = -R \cdot X^{(k)} + B,$$

$$X^{(k+1)} = -(L + D)^{-1} \cdot R \cdot X^{(k)} + (L + D)^{-1} \cdot B.$$

Получаем

$$H = -(L + D)^{-1} \cdot R \text{ и } G = (L + D)^{-1} \cdot B.$$

Организация итерационного процесса:

$k := 2..100$

$$U_{\Delta 1}^{(k)} := (L + D)^{-1} \cdot B - (L + D)^{-1} \cdot R \cdot U_{\Delta 1}^{(k-1)}$$

На рисунке 1 представлены результаты расчета падения напряжения в узле 1 относительно балансирующего по методам простой и ускоренной итерации.

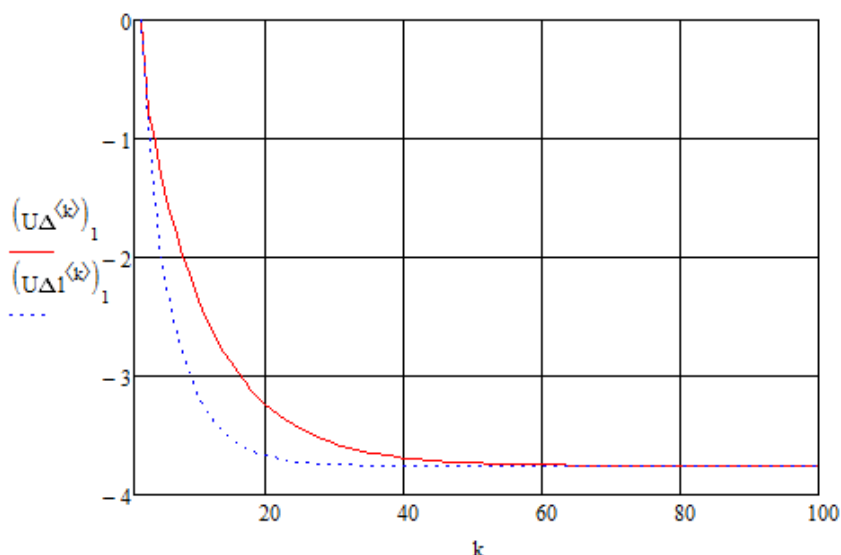


Рисунок 1 – Сравнительная сходимость по методам простой и ускоренной итерации

Для рассмотренного примера по методу простой итерации результат с точностью 0,001 получили за 86 итераций, а по методу ускоренной итерации за 43.

Главное достоинство итерационных методов – применимость их к плохо обусловленным системам и системам высоких порядков, их самоисправляемость и простота реализации на компьютере. Только в начале расчетов необходимо задаться начальным приближением к искомому решению.

Литература

1. Численные методы в примерах и задачах: Учеб. пособие/В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. — 3-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 2008. — 480 с.
2. Фаддеев Д.К. Вычислительные методы линейной алгебры / Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. - 3-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2002. - 733 с.
3. Формалев В. Ф., Ревизников Д. Л. Численные метометоды. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 400 с.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЬЮТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Морозов А.Г.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Основным методом решения системы нелинейных узловых уравнений, применяемых для расчета установившихся режимов электрической сети, является метод Ньютона. Этот метод быстро сходится и допускает различные модификации.

Основная идея метода Ньютона заключается в следующем: задается начальное приближение вблизи предположительного корня, после чего строится касательная к графику исследуемой функции в точке приближения, для которой находится пересечение с осью абсцисс. Эта точка берется в качестве следующего приближения. И так далее, пока не будет достигнута заданная точность.

Произведем расчет режима электрической сети переменного тока методом Ньютона. Пусть известны следующие исходные данные:

- 1) топология схемы представлена в виде первой матрицы соединений M ;
- 2) нагрузка в узлах задана в виде вектора мощностей (активной и реактивной мощности), МВ·А. При этом нагрузку задаем со знаком “минус”, а генерацию со знаком “плюс”;

$$M = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} -25.5 - 15.797i \\ 0 \\ -21.25 - 13.164i \\ 50.15 + 31.068i \\ -45.05 - 27.908i \end{pmatrix}$$

- 3) напряжение в балансирующем узле принимаем $U_{By} = 116$ кВ;

- 4) матрица-столбец сопротивлений ветвей, Ом и матрица узловых проводимостей, См.

$$Z_v = \begin{pmatrix} 5.4 + 11.34i \\ 9.6 + 20.16i \\ 11.6 + 24.36i \\ 9 + 18.9i \\ 9.8 + 20.58i \\ 10.6 + 22.26i \\ 7 + 14.7i \\ 7.6 + 15.96i \end{pmatrix} \quad Y_y := M \cdot dZ_v^{-1} \cdot M^T = \begin{pmatrix} 0.052 - 0.109i & 0 & -0.017 + 0.037i & 0 & 0 \\ 0 & 0.059 - 0.123i & 0 & -0.021 + 0.043i & -0.019 + 0.04i \\ -0.017 + 0.037i & 0 & 0.06 - 0.126i & -0.026 + 0.055i & 0 \\ 0 & -0.021 + 0.043i & -0.026 + 0.055i & 0.071 - 0.15i & -0.024 + 0.051i \\ 0 & -0.019 + 0.04i & 0 & -0.024 + 0.051i & 0.043 - 0.091i \end{pmatrix}$$

Уравнение узловых напряжений при задании нагрузок в мощностях записывается следующим образом:

$$U_{\Delta} = U - U_{By} = Y_y^{-1} \cdot \frac{\bar{S}}{\bar{U}},$$

где U_{Δ} - матрица-столбец падений напряжения в узлах относительно балансирующего, кВ;

U - матрица-столбец напряжения в узлах, кВ;

\bar{S} и \bar{U} – сопряженные значения матриц узловых мощностей и напряжений.

В случае подстановки в это уравнение точных значений узловых напряжений получаем равенство:

$$U_{By} - U + Y_y^{-1} \cdot \frac{\bar{S}}{\bar{U}} = 0.$$

При подстановке произвольных значений (например, начальных приближений) узловых напряжений равенство нарушается. Задаем начальные приближения напряжений:

```

i := 1..rows(S)
U0i,1 := 110
U0T = (110 110 110 110 110)
    
```

Составляем функцию для определения левой части равенства f(X1, X2,X3,X4,X5,Y_y,S)

$$f(X1, X2, X3, X4, X5, Y_y, S) := \begin{pmatrix}
 Ubu - X1 + \frac{(Y_y^{-1})_{1,1} \cdot \overline{s_{1,1}}}{X1} + \frac{(Y_y^{-1})_{1,2} \cdot \overline{s_{2,1}}}{X2} + \frac{(Y_y^{-1})_{1,3} \cdot \overline{s_{3,1}}}{X3} + \frac{(Y_y^{-1})_{1,4} \cdot \overline{s_{4,1}}}{X4} + \frac{(Y_y^{-1})_{1,5} \cdot \overline{s_{5,1}}}{X5} \\
 Ubu - X2 + \frac{(Y_y^{-1})_{2,1} \cdot \overline{s_{1,1}}}{X1} + \frac{(Y_y^{-1})_{2,2} \cdot \overline{s_{2,1}}}{X2} + \frac{(Y_y^{-1})_{2,3} \cdot \overline{s_{3,1}}}{X3} + \frac{(Y_y^{-1})_{2,4} \cdot \overline{s_{4,1}}}{X4} + \frac{(Y_y^{-1})_{2,5} \cdot \overline{s_{5,1}}}{X5} \\
 Ubu - X3 + \frac{(Y_y^{-1})_{3,1} \cdot \overline{s_{1,1}}}{X1} + \frac{(Y_y^{-1})_{3,2} \cdot \overline{s_{2,1}}}{X2} + \frac{(Y_y^{-1})_{3,3} \cdot \overline{s_{3,1}}}{X3} + \frac{(Y_y^{-1})_{3,4} \cdot \overline{s_{4,1}}}{X4} + \frac{(Y_y^{-1})_{3,5} \cdot \overline{s_{5,1}}}{X5} \\
 Ubu - X4 + \frac{(Y_y^{-1})_{4,1} \cdot \overline{s_{1,1}}}{X1} + \frac{(Y_y^{-1})_{4,2} \cdot \overline{s_{2,1}}}{X2} + \frac{(Y_y^{-1})_{4,3} \cdot \overline{s_{3,1}}}{X3} + \frac{(Y_y^{-1})_{4,4} \cdot \overline{s_{4,1}}}{X4} + \frac{(Y_y^{-1})_{4,5} \cdot \overline{s_{5,1}}}{X5} \\
 Ubu - X5 + \frac{(Y_y^{-1})_{5,1} \cdot \overline{s_{1,1}}}{X1} + \frac{(Y_y^{-1})_{5,2} \cdot \overline{s_{2,1}}}{X2} + \frac{(Y_y^{-1})_{5,3} \cdot \overline{s_{3,1}}}{X3} + \frac{(Y_y^{-1})_{5,4} \cdot \overline{s_{4,1}}}{X4} + \frac{(Y_y^{-1})_{5,5} \cdot \overline{s_{5,1}}}{X5}
 \end{pmatrix}$$

При обращении к данной функции указываются: X1, X2, X3, X4, X5 - напряжения в узлах; матрицы узловых проводимостей и задающих мощностей.

Составляем функцию для реализации метода Ньютона:

```

nton(X1,X2,X3,X4,X5,e) :=
for i in 1..100
fU ←  $\begin{pmatrix} \frac{d}{dx1}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_1)) & \frac{d}{dx2}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_1)) & \frac{d}{dx3}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_1)) & \frac{d}{dx4}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_1)) & \frac{d}{dx5}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_1)) \\ \frac{d}{dx1}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_2)) & \frac{d}{dx2}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_2)) & \frac{d}{dx3}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_2)) & \frac{d}{dx4}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_2)) & \frac{d}{dx5}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_2)) \\ \frac{d}{dx1}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_3)) & \frac{d}{dx2}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_3)) & \frac{d}{dx3}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_3)) & \frac{d}{dx4}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_3)) & \frac{d}{dx5}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_3)) \\ \frac{d}{dx1}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_4)) & \frac{d}{dx2}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_4)) & \frac{d}{dx3}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_4)) & \frac{d}{dx4}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_4)) & \frac{d}{dx5}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_4)) \\ \frac{d}{dx1}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_5)) & \frac{d}{dx2}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_5)) & \frac{d}{dx3}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_5)) & \frac{d}{dx4}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_5)) & \frac{d}{dx5}(f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,P_5)) \end{pmatrix}^{-1} f(X1,X2,X3,X4,X5,Yy,S)$ 
Z ←  $\begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \end{pmatrix}$  - fU
b ← max(|fU|)
X1 ← Z1
X2 ← Z2
X3 ← Z3
X4 ← Z4
X5 ← Z5
Mfi,1 ← i
Mfi,2 ← |X1|
Mfi,3 ← |X1|
Mfi,3 ← |X2|
Mfi,4 ← |X3|
Mfi,5 ← |X4|
Mfi,6 ← |X5|
Mfi,7 ← b
break if b < e
Mf
    
```

При обращении к данной функции указываются напряжения и e – необходимая точность расчета узловых напряжений.

В результате расчета тестовой схемы итерационный процесс сошелся на 5 итерации при заданной точности расчета e=0,01 кВ. Ниже представлены результаты расчета модулей напряжений на каждом шаге итерационного процесса, а в последнем столбце – значение наибольшего изменения напряжения, которое сравнивается с точностью расчета.

$$\text{nton}(U_{0_1}, U_{0_2}, U_{0_3}, U_{0_4}, U_{0_5}, 0.01) = \begin{pmatrix} 1 & 113.419 & 114.27 & 113.743 & 115.556 & 111.139 & 5.582 \\ 2 & 113.32 & 114.053 & 113.581 & 115.326 & 110.705 & 0.769 \\ 3 & 113.328 & 114.075 & 113.594 & 115.342 & 110.756 & 0.097 \\ 4 & 113.327 & 114.071 & 113.592 & 115.339 & 110.748 & 0.015 \\ 5 & 113.327 & 114.072 & 113.592 & 115.339 & 110.749 & 0.002 \end{pmatrix}$$

Кроме модулей можно вывести углы напряжений.

$$\text{nton}(U_{0_1}, U_{0_2}, U_{0_3}, U_{0_4}, U_{0_5}, 0.01) = \begin{pmatrix} -0.895 & -0.676 & -0.822 & -0.27 & -1.855 \\ -0.822 & -0.504 & -0.695 & -0.079 & -1.527 \\ -0.828 & -0.523 & -0.707 & -0.094 & -1.57 \\ -0.827 & -0.52 & -0.705 & -0.091 & -1.563 \\ -0.828 & -0.521 & -0.705 & -0.091 & -1.564 \end{pmatrix}$$

Для проверки полученного результата, рассчитаем напряжения в узлах с помощью встроенной функции Given-Find, а также при помощи программы RastrWin (таблица 1).

Given

$$U1 \cdot \left[\overline{Y_{y_{1,1}}} \cdot \overline{U1} + \overline{Y_{y_{1,2}}} \cdot \overline{U2} + \overline{Y_{y_{1,3}}} \cdot \overline{U3} + \overline{Y_{y_{1,4}}} \cdot \overline{U4} + \overline{Y_{y_{1,5}}} \cdot \overline{U5} + \overline{Y_{y_{1,6}}} \cdot (U_{by}) \right] = S_1$$

$$U2 \cdot \left[\overline{Y_{y_{2,1}}} \cdot \overline{U1} + \overline{Y_{y_{2,2}}} \cdot \overline{U2} + \overline{Y_{y_{2,3}}} \cdot \overline{U3} + \overline{Y_{y_{2,4}}} \cdot \overline{U4} + \overline{Y_{y_{2,5}}} \cdot \overline{U5} + \overline{Y_{y_{2,6}}} \cdot (U_{by}) \right] = S_2$$

$$U3 \cdot \left[\overline{Y_{y_{3,1}}} \cdot \overline{U1} + \overline{Y_{y_{3,2}}} \cdot \overline{U2} + \overline{Y_{y_{3,3}}} \cdot \overline{U3} + \overline{Y_{y_{3,4}}} \cdot \overline{U4} + \overline{Y_{y_{3,5}}} \cdot \overline{U5} + \overline{Y_{y_{3,6}}} \cdot (U_{by}) \right] = S_3$$

$$U4 \cdot \left[\overline{Y_{y_{4,1}}} \cdot \overline{U1} + \overline{Y_{y_{4,2}}} \cdot \overline{U2} + \overline{Y_{y_{4,3}}} \cdot \overline{U3} + \overline{Y_{y_{4,4}}} \cdot \overline{U4} + \overline{Y_{y_{4,5}}} \cdot \overline{U5} + \overline{Y_{y_{4,6}}} \cdot (U_{by}) \right] = S_4$$

$$U5 \cdot \left[\overline{Y_{y_{5,1}}} \cdot \overline{U1} + \overline{Y_{y_{5,2}}} \cdot \overline{U2} + \overline{Y_{y_{5,3}}} \cdot \overline{U3} + \overline{Y_{y_{5,4}}} \cdot \overline{U4} + \overline{Y_{y_{5,5}}} \cdot \overline{U5} + \overline{Y_{y_{5,6}}} \cdot (U_{by}) \right] = S_5$$

$$\text{Find}(|U1|, |U2|, |U3|, |U4|, |U5|) = \begin{pmatrix} 113.327 \\ 114.072 \\ 113.592 \\ 115.339 \\ 110.749 \end{pmatrix}$$

Таблица 1 – Результаты расчета по методу Ньютона

Узел	Модуль напряжения U, кВ			Угол δ, град		
	Rastr	Given-Find	метод Ньютона	Rastr	Given-Find	метод Ньютона
1	113,32	113,327	113,327	-0,83	-0,828	-0,828
2	114,06	114,072	114,072	-0,52	-0,521	-0,521
3	113,58	113,592	113,592	-0,7	-0,705	-0,705
4	115,33	115,339	115,339	-0,09	-0,091	-0,091
5	110,74	110,749	110,749	-1,56	-1,564	-1,564

Как видно из полученных расчетов значения совпали. Составленная в ходе выполнения работы функция в отличие от встроенной функции Given-Find позволяет вносить изменения в алгоритм расчета, использовать модификации метода Ньютона, выполнять расчет с требуемой точностью, анализировать ход итерационного процесса.

Литература

1. Численные методы. В.Ф. Формалев, Д.Л. Ревизников. - М.:Физматгиз, 2004. - 400 с.
2. Численные методы на базе MathCAD. С.В. Поршнев, И.В. Беленкова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 464 с.

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ ИНЕРЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ СТАНЦИИ НА ПРЕДЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Михолап Е.Н.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Движение ротора генератора, описывается уравнением [1]:

$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \Delta P,$$

где $T_J = J_0 \cdot \frac{\omega_0^2}{S_{ном}}$ – постоянная инерции генератора, имеющая размерность времени и численно равная промежутку времени, в течение которого ротор разгоняется из состояния покоя до номинальной скорости вращения под действием номинального вращающего момента;

δ – угол, который отсчитывается от неподвижной оси, совмещаемой, как правило, с магнитной осью статорной обмотки фазы А (рисунок 1);

ΔP – небаланс мощностей;

J_0 – момент инерции вращающейся части энергоагрегата (ротора турбины, вала и ротора генератора);

ω_0 – синхронная частота;

$S_{ном}$ – номинальная мощность генератора.

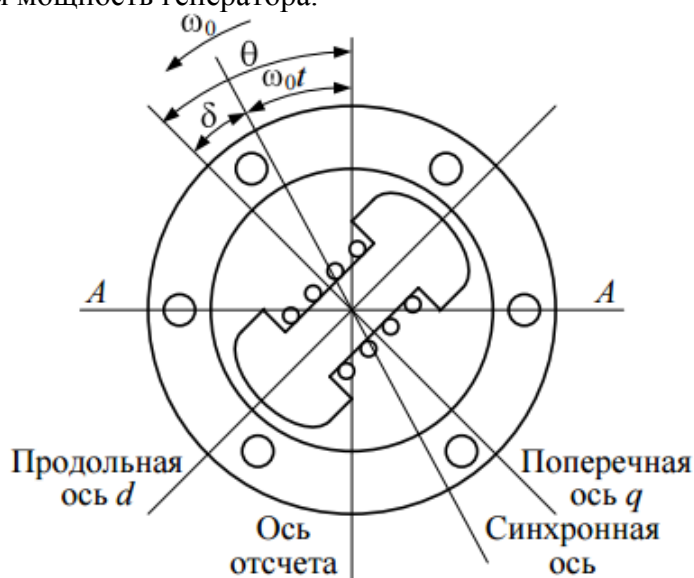


Рисунок 1 – Модель ротора генератора

Рассмотрим влияние постоянной инерции генератора на предельное время отключения короткого замыкания (КЗ) для схемы электрической сети, представленной на рисунке 2.

Методика оценки влияния: в произвольный момент времени, например, при $t = 0,2$ с моделируем возмущение на шинах высокого напряжения в виде трехфазного короткого замыкания в узлах, удаленных на различное расстояние от исследуемого генератора станции. Далее изменяем постоянную инерции генератора в диапазоне от 0,1 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. Полученные результаты расчёта сведём в таблицу 1, в которой укажем: постоянную инерции, изменение постоянной инерции, %, предельное время

отключения КЗ, с, изменение времени, %, предельный угол отключения КЗ, град, изменение угла, %.

Используя аппроксимацию экспериментальных данных (рисунок 3) функциональными зависимостями в MathCad, определяем функцию, описывающую полученное изменение.

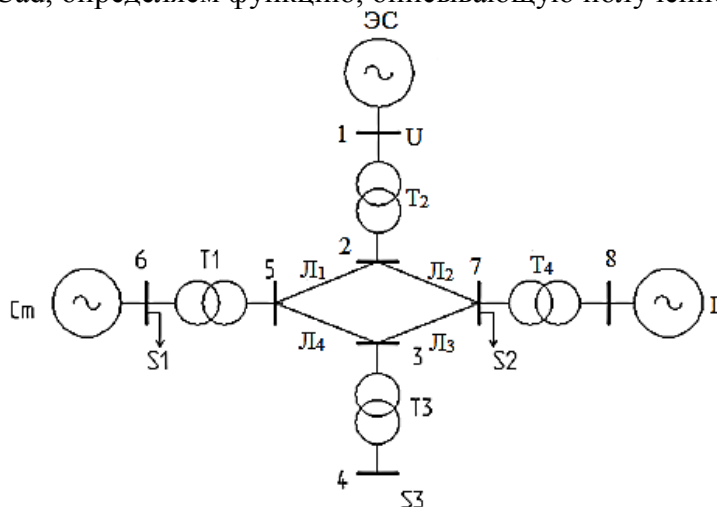


Рисунок 2 – Исследуемая схема электрической сети

Таблица 1 – Результаты расчёта

T_j	$\Delta T_j, \%$	$t_{откл}^{пр}, с$	$\Delta t_{откл}^{пр}, \%$	$\delta_{откл}^{пр}, град$	$\Delta \delta_{откл}^{пр}, \%$
48	-98	0,054	-68,05	102,18	47,89
240	-90	0,073	-56,81	82,35	19,19
480	-80	0,091	-46,15	78,13	13,08
720	-70	0,105	-37,87	75,25	8,92
960	-60	0,117	-30,77	73,55	6,46
1440	-40	0,137	-18,94	70,64	2,24
1920	-20	0,154	-8,88	70,01	1,33
2400	-	0,169	-	69,09	-
2880	20	0,182	7,69	67,65	-2,08
3360	40	0,194	14,79	66,95	-3,10
3840	60	0,206	21,89	66,73	-3,42
4320	80	0,216	27,81	66,04	-4,42
4800	100	0,226	33,73	66,03	-4,43
5280	120	0,236	39,65	65,86	-4,68
5760	140	0,245	44,97	65,18	-5,66
6240	160	0,254	50,30	65,01	-5,91
7200	200	0,271	60,36	64,71	-6,34

Функцию ищем в виде:

$$f(t) = C_1 \cdot t^{C_2} + C_3 = 2,276 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,523} + 0,035.$$

На рисунке 4 показан график движения ротора при различных моментах инерции - при исходном значении и при его увеличении в 2 и 3 раза. По данному графику зная предельный угол отключения КЗ можно определить предельное время отключения КЗ, а также можно оценить значение угла δ в любой момент времени от начала возмущения, до его отключения.

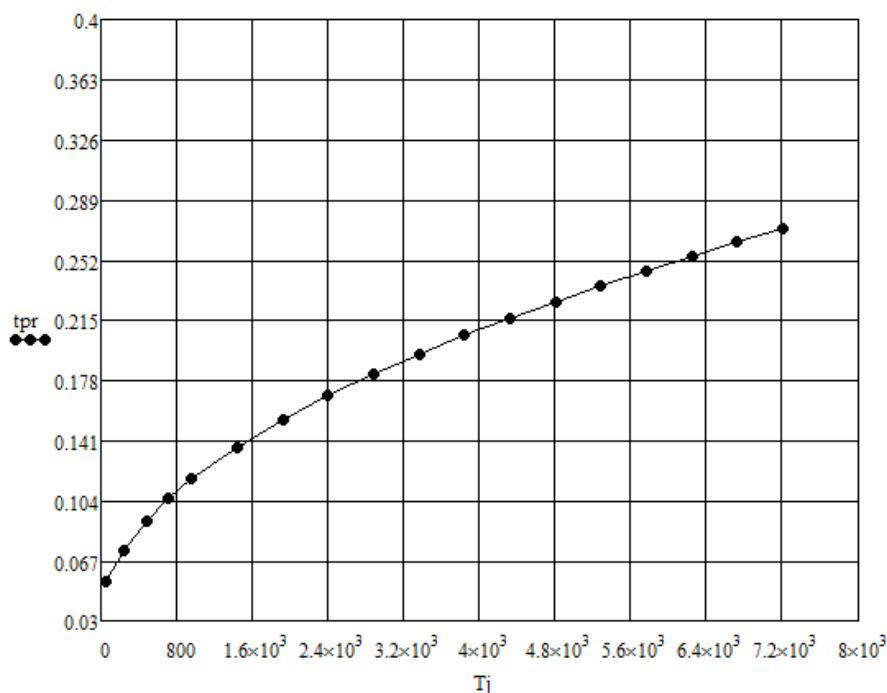


Рисунок 3 – Зависимость предельного времени отключения от изменения Tj

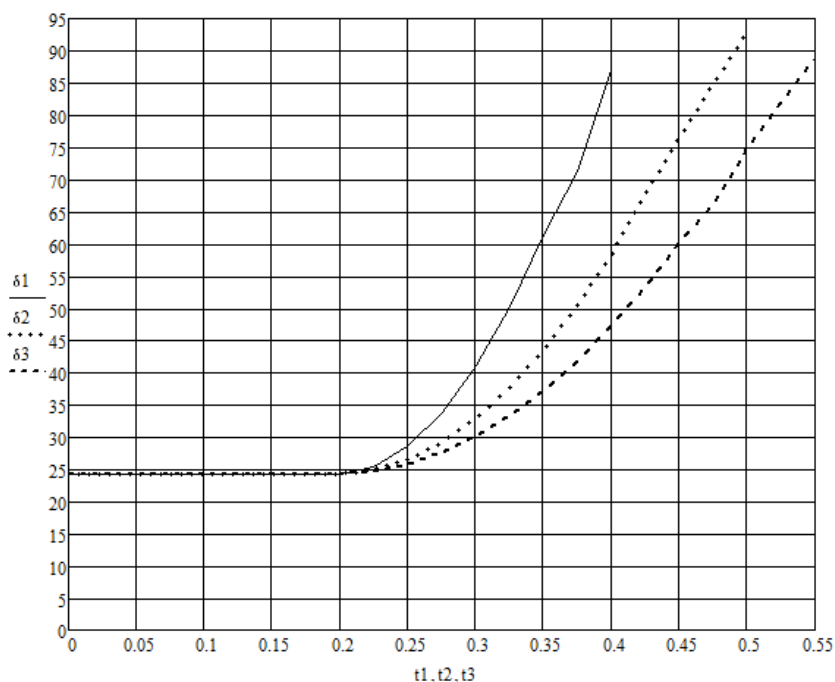


Рисунок 4 – Изменение угла ротора при КЗ при различных Tj

Выводы:

- 1) при увеличении постоянной механической инерции генератора предельное время отключения КЗ увеличивается, а значит динамическая устойчивость улучшается. Так при увеличении постоянной механической инерции генератора в 2 раза предельное время отключения увеличилось на 33,73 %, при увеличении в 3 раза – на 60,36 %.
- 2) для увеличения предельного времени отключения в n раз необходимо увеличить постоянную механической инерции в n^2 раз.

Литература

1. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части электростанций: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, Н.В. Коломиец. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 123 с.

УДК 621.311

СОБСТВЕННЫЕ ЧИСЛА И ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ МАТРИЦЫ УЗЛОВЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ

Крапивина Т.С.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Расчет установившегося режима (УР) является базовой задачей при выполнении анализа режимов работы электрических систем.

Математическая модель УР электрических систем представляется совокупностью уравнений, которые формируются на основе схем замещения и физических законов Ома, Кирхгофа. На практике математическая модель, представленная уравнениями законов Ома и Кирхгофа в явном виде, как правило, не используется. В настоящее время наиболее распространенной формой уравнений УР является система уравнений узловых напряжений (УУН) [1]. При задании нагрузок в токах система УУН является линейной системой алгебраических уравнений (СЛАУ), а при задании в мощностях – нелинейной.

Важным моментом, определяющим возможность получения решения линейной системы уравнений и достоверность этого решения, является хорошая обусловленность матрицы ее коэффициентов. Если матрица плохо обусловлена, то определитель стремится к нулю, соответственно система может иметь бесконечное множество решений или же может не иметь решение и не отвечать физической сущности задачи, а в некоторых случаях при применении итерационных методов может вообще не давать решений – итерационный процесс расходится.

Для решения СЛАУ применяются точные и итерационные методы, основанные на многократном уточнении $x^{(0)}$ - приближенно заданного решения задачи (верхним индексом в скобках здесь обозначается номер итерации).

Пусть необходимо решить систему уравнений узловых напряжений:

$$\begin{cases} y_{11} \cdot U_{\Delta 1} + y_{12} \cdot U_{\Delta 2} + y_{13} \cdot U_{\Delta 3} = J_1 \\ y_{21} \cdot U_{\Delta 1} + y_{22} \cdot U_{\Delta 2} + y_{23} \cdot U_{\Delta 3} = J_2 \\ y_{31} \cdot U_{\Delta 1} + y_{32} \cdot U_{\Delta 2} + y_{33} \cdot U_{\Delta 3} = J_3 \end{cases} \quad (1)$$

или в матричной форме:

$$Y \cdot U_{\Delta} = J, \quad (2)$$

где Y – матрица узловых проводимостей;

U_{Δ} - искомая матрица-столбец падений напряжения в узлах относительно балансирующего, кВ;

J - матрица-столбец задающих токов в узлах (токи нагрузки задаются со знаком “минус”), кА.

Подготовленная система к решению методом простой итерации в матричной форме имеет вид:

$$U_{\Delta}^{(k+1)} = H \cdot U_{\Delta}^{(k)} + G, \quad (3)$$

где $H = -D^{-1} \cdot (L + R)$ и $G = D^{-1} \cdot J$.

В свою очередь

$$Y = L + D + R, \quad (4)$$

где D – диагональная, L и R – левая и правая строго треугольные (с нулевой диагональю) матрицы. В случае симметричной относительно главной диагонали матрицы Y получаем $R = L^T$.

При решении СЛАУ итерационными методами возникают следующие вопросы:

1) сходится ли итерационный процесс, то есть можно ли в результате расчета получить решение?

2) если сходимость есть, то какова ее скорость?

3) какова погрешность найденного решения?

Ответить на эти вопросы можно проведя анализ норм, собственных чисел и обусловленности матриц, используемых в итерационном процессе [2].

Существуют следующие нормы:

1) m -норма (в MathCAD функция $\text{norm}(H)$):

$$\|H\|_m = \max_i \sum_{j=1}^n |h_{ij}|; \quad (5)$$

2) l -норма (в MathCAD функция $\text{norm}(H)$):

$$\|H\|_l = \max_j \sum_{i=1}^n |h_{ij}|; \quad (6)$$

3) Евклидова норма (в MathCAD функция $\text{norme}(H)$):

$$\|H\|_E = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |h_{ij}|^2}. \quad (7)$$

Метод простых итераций, реализующийся в процессе последовательных приближений (3), сходится к единственному решению исходной системы $Y \cdot U_{\Delta} = J$ при любом начальном приближении $X^{(0)}$ со скоростью не медленнее геометрической прогрессии, если какая-либо каноническая норма матрицы H меньше единицы. Канонической называется норма, которая не меньше любого элемента матрицы.

Сходящийся процесс обладает свойством самоисправляемости, т.е. отдельная ошибка в вычислениях не отразится на окончательном результате, так как ошибочное приближение можно рассматривать как новое начальное.

Условия сходимости выполняются, если в матрице Y диагональные элементы преобладают, т.е. выполняется:

$$|y_{ii}| \geq |y_{i1}| + |y_{i2}| + \dots + |y_{ii-1}| + |y_{ii+1}| + \dots + |y_{in}|$$

и хотя бы для одного i неравенство строгое. Иначе, модули диагональных коэффициентов в каждом уравнении системы больше суммы модулей недиагональных коэффициентов (свободные члены не рассматриваются).

Чем меньше величина нормы H , тем быстрее сходимость метода.

Необходимым и достаточным условием сходимости метода простых итераций при любом начальном векторе $X^{(0)}$ к решению X^* системы является требование, чтобы все собственные значения λ матрицы H были по модулю меньше 1.

Собственные значения матрицы H можно найти по формуле:

$$\det(H - E \cdot \lambda) = 0, \quad (8)$$

где E – единичная матрица такой же размерности, что и матрица H .

В MathCAD собственные значения находятся через функцию $\text{eigenvals}(H)$.

При $\det Y \approx 0$ небольшие погрешности в коэффициентах могут привести к большим погрешностям в решении (плохо обусловленная задача). При $\det Y = 0$ решение задачи не существует или оно не единственно.

Обусловленность задачи характеризуется числом обусловленности – чем оно больше, тем хуже обусловленность системы:

$$V(Y) = \|Y\| \cdot \|Y^{-1}\|, \quad (9)$$

где $\|Y\|$ – норма матрицы, $\|Y^{-1}\|$ – норма обратной матрицы.

Число обусловленности связано с нормой матрицы и вычисляется по-разному для каждой из норм $\text{cond}_i(Y)$ – число обусловленности в норме m ; $\text{cond}_1(Y)$ – число обусловленности в норме $L1$; $\text{conde}(Y)$ – число обусловленности в евклидовой норме.

Матрицы с числом обусловленности близким к единице называются хорошо обусловленными (погрешности исходных данных переносятся на решение без заметного увеличения).

Матрицы (с большим числом обусловленности ($\sim 10^3$ и выше) называются плохо обусловленными (при решении плохо обусловленных систем возможно сильное увеличение ошибки в решении по сравнению с погрешностью исходных данных).

Рассмотрим СЛАУ вида (2), для которой известны:

$$Y_y := \begin{pmatrix} 0.371 & -0.179 & -0.093 & 0 & 0 \\ -0.179 & 0.511 & -0.125 & -0.111 & 0 \\ -0.093 & -0.125 & 0.334 & 0 & -0.116 \\ 0 & -0.111 & 0 & 0.225 & -0.114 \\ 0 & 0 & -0.116 & -0.114 & 0.23 \end{pmatrix} \quad J := \begin{pmatrix} 0 \\ -0.3 \\ -0.6 \\ -0.282 \\ 0.4 \end{pmatrix}$$

Определяем матрицу H, а также ее нормы, собственные значения и число обусловленности матрицы Y_y :

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0.482 & 0.251 & 0 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0.245 & 0.217 & 0 \\ 0.278 & 0.374 & 0 & 0 & 0.347 \\ 0 & 0.493 & 0 & 0 & 0.507 \\ 0 & 0 & 0.504 & 0.496 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{eigenvals}(H) = \begin{pmatrix} 0.903 \\ -0.794 \\ -0.42 \\ 0.326 \\ -0.016 \end{pmatrix}$$

$\text{normi}(H) = 1$
 $\text{norm1}(H) = 1.35$
 $\text{norme}(H) = 1.365$
 $\text{condi}(Y_y) = 37.438$
 $\text{cond1}(Y_y) = 37.438$
 $\text{conde}(Y_y) = 31.188$

Достаточное условие сходимости итерационного процесса не выполняется – нормы матрицы H больше 1. Необходимое и достаточное условие сходимости итерационного процесса выполняется – все собственные значения матрицы H по модулю меньше 1. Итерационный процесс сходится.

При перестановке уравнение в системе местами (строк в матрицах Y_y , J, U_Δ) условия сходимости итерационного процесса не выполняются, итерационный процесс расходится.

$$Y_{ym} = \begin{pmatrix} -0.179 & 0.511 & -0.125 & -0.111 & 0 \\ 0.371 & -0.179 & -0.093 & 0 & 0 \\ -0.093 & -0.125 & 0.334 & 0 & -0.116 \\ 0 & -0.111 & 0 & 0.225 & -0.114 \\ 0 & 0 & -0.116 & -0.114 & 0.23 \end{pmatrix} \quad J_m = \begin{pmatrix} -0.3 \\ 0 \\ -0.6 \\ -0.282 \\ 0.4 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 1.61 & 1.991 & -1.066 & -0.485 & -0.082 \\ 2.122 & 0.373 & -0.698 & -0.62 & 0.376 \\ 0.278 & 0.374 & 0 & 0 & 0.347 \\ 0 & 0.493 & 0 & 0 & 0.507 \\ 0 & 0 & 0.504 & 0.496 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{eigenvals}(H) = \begin{pmatrix} 2.851 \\ 0.842 \\ -0.861 + 0.076i \\ -0.861 - 0.076i \\ 0.011 \end{pmatrix}$$

$\text{normi}(H) = 5.234$
 $\text{norm1}(H) = 4.011$
 $\text{norme}(H) = 3.864$
 $\text{condi}(Y_y) = 37.438$
 $\text{cond1}(Y_y) = 37.438$
 $\text{conde}(Y_y) = 31.188$

Рассматривая матрицу узловых сопротивлений можно отметить, что элементы, находящиеся на главной диагонали, являются положительными числами, остальные элементы – либо нули, либо числа отрицательные. При замене строк в данной матрице можно наблюдать:

1) при попадании на главную диагональ значения «0» дальнейший расчет невозможен. Матрицу H посчитать нельзя, т.к. получается деление на ноль, что не допустимо;

2) при попадании на главную диагональ отрицательного значения режим расходится. Определитель матрицы узловых сопротивлений получается отрицательным, если сравнивать

его с оценкой Адамара, то он не удовлетворяет условию. Значения U^{Δ} стремительно растут, достигая значений $\approx 10^{65}$ и выше, что свидетельствует о том, что итерационный процесс расходится и рассчитать УР невозможно.

Литература

1. Аюев Б.И., Давыдов В.В., Ерохин П.М., Неуймин В.Г. Вычислительные модели потокораспределения электрических систем. - М.: Наука, 2008. - 256 с.
2. Численные методы в примерах и задачах: Учеб. пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. - 3-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 2008. - 480 с.

УДК 621.311

УЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УЗЛАХ ПРИ РАСЧЕТЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Мацкевич М. О.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Расчет и анализ установившихся режимов (УР) электрических сетей имеет большое значение при их проектировании и эксплуатации. Задача расчета режимов имеет не только самостоятельное значение при определении потоков распределений, напряжений, токов и потерь мощности в сетях, но и является базовой при решении задач оптимизации режимов, при расчетах переходных электромеханических процессов, при определении токов короткого замыкания [1].

Цель данной работы заключалась в составлении алгоритма расчета установившегося режима электрической сети с учетом трансформаторов и его реализации в программе MathCAD.

Схема замещения двухобмоточного трансформатора в расчётах УР электрических сетей обычно принимается упрощенной и отвечает Г-образной схеме замещения при отсутствии поперечной проводимости со стороны m и наличии с этой стороны идеального трансформатора (рисунок 1), в общем случае характеризуемого комплексным коэффициентом трансформации.

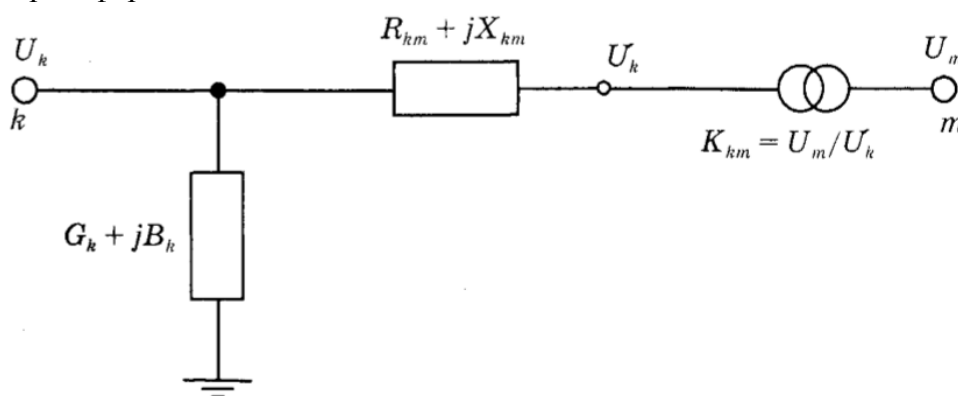


Рисунок 1 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора

Схемы соединений трансформаторов унифицированы и размещаются таким образом, чтобы параллельно работающие трансформаторы имели один и тот же сдвиг по фазе, т.е. были согласованны. Поэтому, как правило, при расчётах УР трансформаторы представляются действительными коэффициентами трансформации. Исключением являются фазосдвигающие трансформаторы, которые предназначены для принудительного регулирования потока активной мощности в замкнутом контуре. В этом случае трансформатор имеет неуравновешенный сдвиг по фазе и должен замещаться комплексным коэффициентом трансформации. Однако в нашей стране такой способ регулирования потока активной мощности не нашёл широкого применения.

При расчёте параметров схемы замещения трансформатора используются паспортные данные опыта короткого замыкания и холостого хода $U_{кз\%}, \Delta P_{кз}, I_{кз\%}, \Delta P_{хх}$:

$$X_{km} = \frac{U_{кз\%} U_{ном}^2}{100 S_{ном}}; R_{km} = \frac{\Delta P_{кз} U_{ном}^2}{S_{ном}^2}; G_k = \frac{\Delta P_{хх}}{U_{ном}^2}; B_k = \frac{I_{кз\%} S_{ном}}{100 U_{ном}^2}.$$

Сопротивления приводятся к напряжению той стороны, где расположена поперечная ветвь, определяющая потери холостого хода.

Математические модели трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов оказываются весьма непростыми из-за сложной зависимости от режима распределения магнитных потоков по ядру и многообразия используемых способов регулирования напряжения.

При наличии трансформаторных связей в электрической сети для расчета УР можно использовать два подхода [2]:

1) привести сопротивления элементов к одной ступени напряжения, а после того как определили режимные параметры произвести их корректировку с учетом коэффициентов трансформации;

2) выполнить расчёт УР электрической сети без приведения сопротивлений к одной ступени напряжения за счёт включения коэффициента трансформации в матрицу проводимостей.

Для апробации алгоритма расчета УР с учетом трансформаторов рассмотрим схему электрической сети, приведенной на рисунке 2.

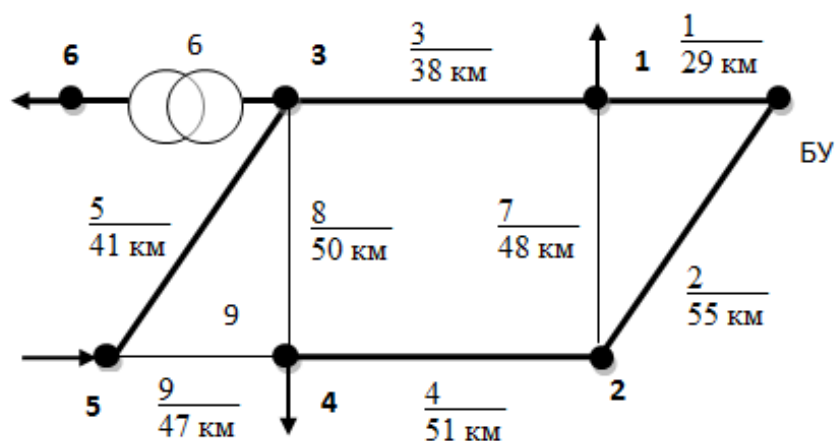


Рисунок 2 – Схема электрической сети

Принимаем следующие исходные данные. Ветви 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 графа – это линии электропередачи 110 кВ, выполненные проводом марки АС-240/32 с погонными параметрами $r_0 = 0,121 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,405 \text{ Ом/км}$; $b_0 = 2,81 \text{ мкСм/км}$. Ветвь 6 - трансформатор ТРДЦН -63000/110.

Задаем нагрузки в узлах сети, МВ·А:

$$S := P + j \cdot Q = \begin{pmatrix} 33 + 20i \\ 0 \\ 34 + 21i \\ 29 + 18i \\ -39 - 24i \\ 25 + 15i \end{pmatrix}$$

Первая матрица соединений с учетом и без учета балансирующего узла (БУ):

$$M\Sigma := \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad M := \text{submatrix}(M\Sigma, 1, 6, 1, 9) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Далее определяем:

- вектор проводимостей продольных ветвей, в котором учитываются линии электропередач и трансформатор;
- и вектор проводимостей связи независимых узлов с БУ. Узлы, которые имеют связь с БУ – дают соответствующие проводимости;
- матрицу узловых проводимостей

$$Y_b := \begin{pmatrix} \frac{1}{z_1} & \frac{1}{z_2} & \frac{1}{z_3} & \frac{1}{z_4} & \frac{1}{z_5} & \frac{1}{r_T + j \cdot x_T} & \frac{1}{z_7} & \frac{1}{z_8} & \frac{1}{z_9} \end{pmatrix}$$

$$Y_{by} := \text{submatrix}(M \Sigma \cdot \text{diag}(Y_b^T) \cdot M \Sigma^T, 7, 7, 1, 1, 7)$$

$$Y := M \cdot \text{diag}(Y_b^T) \cdot M^T$$

Потери холостого хода трансформатора учитываем в матрице задающих мощностей.

Расчет проводим по методу простых итераций. В качестве начальных приближений принимаем номинальные напряжения 110 и 10 кВ.

Ход итерационного процесса:

$$U(z_y, s) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 110 & 114.175-5.155i & 113.823-4.669i & 113.806-4.744i & 113.798-4.737i & 113.797-4.738i & 113.797-4.738i \\ \hline 110 & 115.14-4.46i & 114.784-4.048i & 114.767-4.116i & 114.76-4.109i & 114.759-4.111i & 114.759-4.11i \\ \hline 110 & 110.994-8.598i & 110.178-7.729i & 110.139-7.879i & 110.123-7.864i & 110.122-7.867i & 110.122-7.867i \\ \hline 110 & 112.095-7.711i & 111.388-6.966i & 111.356-7.094i & 111.342-7.081i & 111.341-7.084i & 111.341-7.083i \\ \hline 110 & 114.502-5.654i & 113.742-5.094i & 113.714-5.204i & 113.702-5.192i & 113.701-5.194i & 113.701-5.194i \\ \hline 10 & 9.841-1.233i & 9.71-1.117i & 9.706-1.14i & 9.703-1.138i & 9.703-1.138i & 9.703-1.138i \\ \hline \end{array}$$

В результате расчета получаем:

$$\vec{|U|} = \begin{pmatrix} 113.896 \\ 114.832 \\ 110.402 \\ 111.566 \\ 113.819 \\ 9.77 \end{pmatrix} \quad \arg(U) = \begin{pmatrix} -2.384 \\ -2.051 \\ -4.086 \\ -3.64 \\ -2.615 \\ -6.691 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

Для проверки, проведем расчет той же схемы и с идентичными исходными данными в программе RastrWin3. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

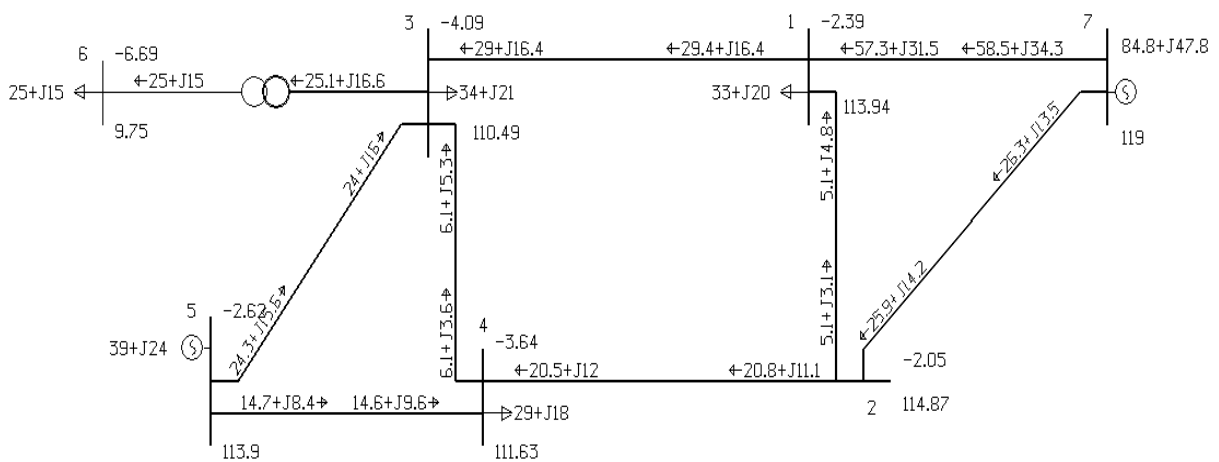


Рисунок 3 – Результаты расчета по программе

Сравнивая результаты расчетов по Mathcad и по программе RastrWin3 можно сделать вывод, что алгоритм составлен, верно. Следует отметить, что при расчете УР электрической сети переменного тока необходимо учитывать в уравнениях узловых напряжений сопряженные элементы – полную мощность и напряжения.

Литература

1. Васюра Ю.Ф., Вильнер А.В. Математические методы расчета установившихся режимов работы электроэнергетических систем с примерами и иллюстрациями: Учебное пособие. – Киров: Изд-во Кировский облкомстат, 2009. -146 с.

3. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : учеб. пособие / А.В. Лыкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 228 с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ****АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Мильто А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

ИНДУКЦИОННЫЕ ЛАМПЫ

Марчук А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сикорский Н.Ю.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Заранко В.И., Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гаврилович О.Н.

СЛАБЫЕ ЗВЕНЬЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А. Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В. Н.

КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ ВЭУ

Микитич Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ, ВЫПОЛНЕННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Миренков А.С.

Научный руководитель - старший преподаватель Прокопенко Л.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сорока А.В.

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

РАЗРАБОТКА ОДНОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОСНАСТКИ

Студент Богданович Л.А.

Научный руководитель - к.т.н., доцент, Козловская В.Б.

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гороховик И. В

Научный руководитель –д.т.н. Анищенко В.А.

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Журавлёв Е.Д.

Научный руководитель –к. т. н, доцент Олешкевич М.М.

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Беляцкий Р. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Угаров М.С.

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Кондратьев Е. В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Швед Г.А.

Научный руководитель Колосова И.В.

«SMART GRID – УМНЫЕ СЕТИ: НОВАЯ ИДЕЯ ИЛИ ЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

Злотникова Е.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

УДК 621.313

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Мильто А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Сегодня во всем мире наблюдается тенденция удорожания энергоресурсов, поэтому все более актуальными становятся вопросы сбережения электроэнергии и, как следствие, рационального выбора силовых распределительных трансформаторов. При таком подходе, как правило, необходимо принимать во внимание не только основные критерии выбора силовых распределительных трансформаторов, но также, такие как КПД (и его зависимость от загрузки трансформатора), потери в магнитной системе и в обмотках трансформатора. При необходимости транспортировки и сложных условиях монтажа целесообразно учитывать габариты и массу трансформатора. Учитывая достаточно большой ассортимент типоразмеров трансформаторов на рынке электротехнической продукции, выбор наиболее рационального варианта может быть затруднен и требовать детального анализа предлагаемых трансформаторов, обладающих сходными технико-экономическими показателями.

В данной работе рассматриваются технические характеристики силовых распределительных трансформаторов серий ТНЗ, ТНЭЗ, ТМ, ТМЗ, ТМГ, ТМГ11, ТМГ12, ТМГ21 и ТМГ15. Для этого были построены:

- 1) графики зависимости КПД трансформаторов от коэффициента загрузки;
- 2) диаграммы масс и диаграммы потерь рассматриваемых трансформаторов.

Исследования выполнены для номинальных мощностей 400, 630, 1000, 1250, 1600 и 2500 кВ·А. В данной работе, представлены результаты для наиболее распространенных в системах электроснабжения промышленных предприятий, трансформаторов мощностью 1000кВ·А и 1600кВ·А. Коэффициент мощности принят равным $\cos\varphi = 0,9$.

Коэффициента полезного действия трансформатора в процентах определяется по формуле [1]

$$\eta = \left(1 - \frac{\Delta P_x + \beta_T^2 \Delta P_k}{\beta_T \cdot S_{ном} \cos \varphi_2 + \Delta P_x + \beta_T^2 \Delta P_k}\right) 100, \quad (1.1)$$

где ΔP_k - потери в обмотках трансформатора, кВт;

ΔP_x - потери в магнитопроводе трансформатора, кВт;

β_T - коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$\cos \varphi_2$ - коэффициент мощности нагрузки трансформатора на стороне вторичного напряжения.

На рисунке 1 представлены зависимости КПД от коэффициента загрузки для трансформаторов мощностью 1000 кВ·А разных серий. Из представленной зависимости следует, что самый высокий КПД имеет трансформатор новой серии ТМГ15 при оптимальном коэффициенте загрузки, далее следует ТМГ12. Однако с ростом коэффициента загрузки КПД трансформаторов серий ТМГ15 и ТМГ12 снижаются в большей степени, в отличие от ТНЭЗ с обмотками из меди, который при несколько меньшем максимальном КПД имеет менее крутой график зависимости. Низкие КПД имеют трансформаторы ТНЭЗ (с обмотками из алюминия) и ТМЗ.

Рисунок 2 отражает зависимость КПД трансформатора мощностью 1600 кВ·А. Очевидно, что ТНЭЗ-1600/10 с обмотками из меди имеет наибольший КПД и меньшую зависимость его от коэффициента загрузки при $\beta_{тр} \geq 0,4$. При $\beta_{тр} < 0,4$ трансформаторы ТМ-1600, ТМГ21-1600/10 и ТМГ11-1600/10 имеют более высокий КПД. Однако, как

правило, трансформаторы работают при $\beta_{тр} = 0,5-0,7$. Худшие показатели при данной мощности имеют трансформаторы типа ТНЗ-1600/10 и ТНЭЗ-1600/10А с алюминиевыми обмотками.

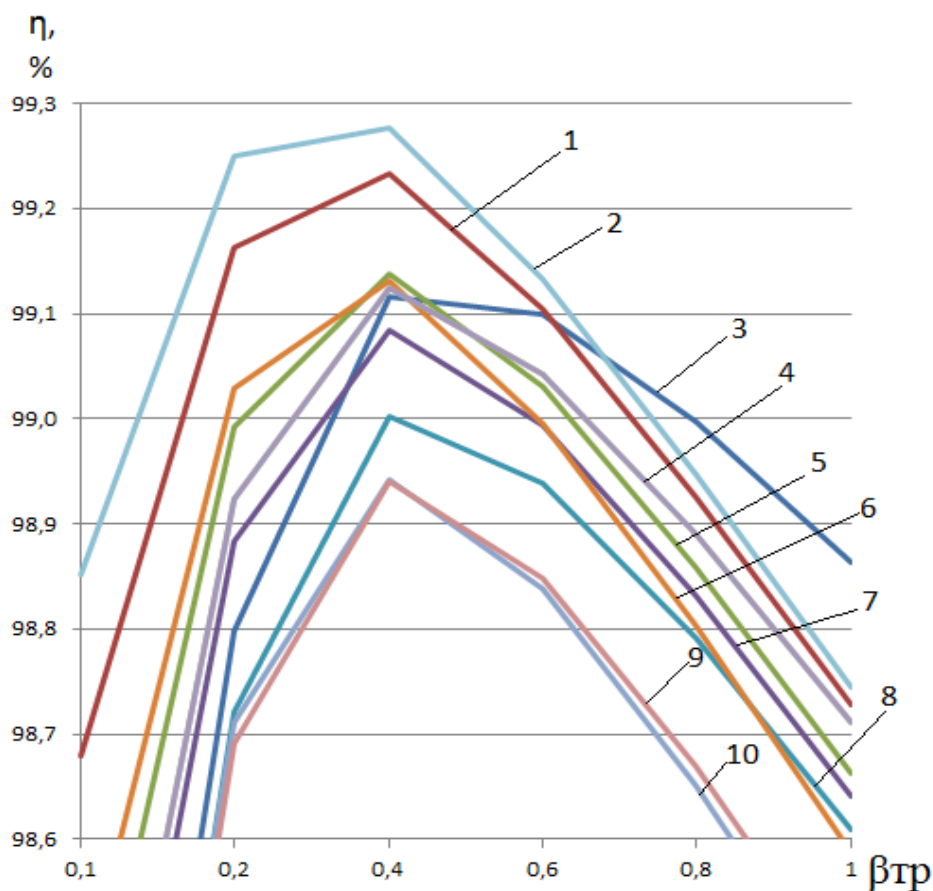


Рисунок 1 - Зависимости КПД трансформаторов мощности S=1000 кВ·А от коэффициента загрузки: 1-ТМГ15; 2- ТМГ12; 3-ТНЭЗ с обмотками их меди; 4-ТМ; 5-ТМГ 11; 6-ТМГ; 7-ТМГ21; 8-ТНЗ; 9-ТМЗ; 10-ТНЭЗ с обмотками из алюминия

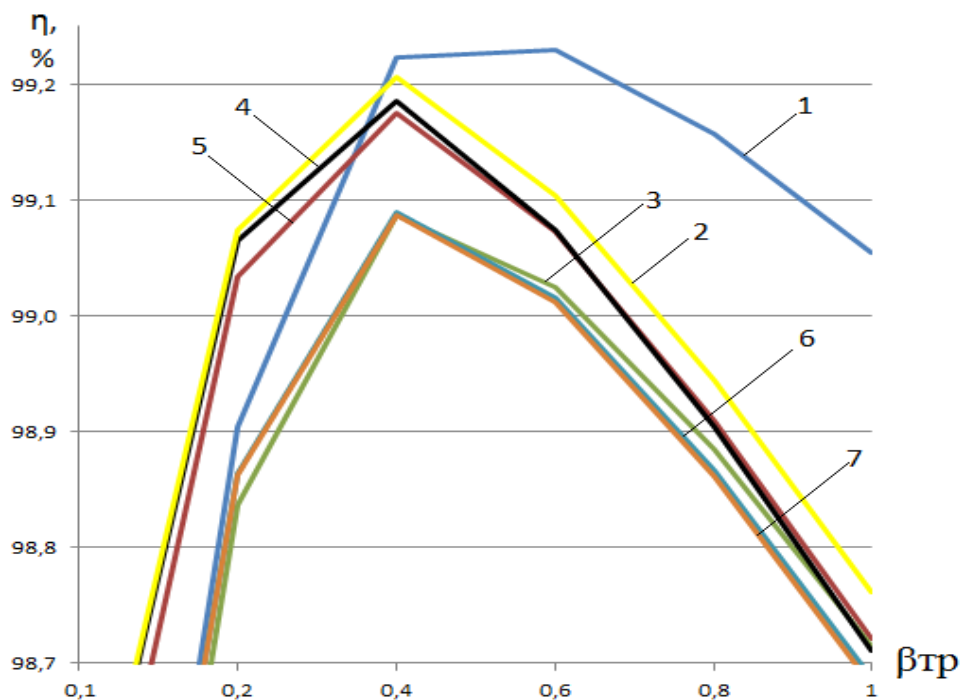


Рисунок 2 - Зависимости КПД трансформаторов мощности S=1600 кВ·А от коэффициента загрузки: 1- ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМ; 3- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 4-ТМГ21; 5-ТМГ11; 6-ТНЗ; 7-ТМЗ.

Из рисунка 3 следует, что при номинальной мощности 1000 кВ·А наибольшие потери имеет трансформатор типа ТНЭЗ-1000/10А с обмотками из алюминия, а наименьшие ТНЭЗ-1000/10 с медными обмотками. Разница потерь между ТНЭЗ-1000/10А и ТНЭЗ-1000/10 составляет 4кВт. Трансформатор ТМГ15-1000/10 на втором месте по наименьшим потерям, а ТМГ12-1000/10 на третьем. Отметим, что трансформатор ТМГ15-1000/10 по сравнению с ТМГ12-1000/10 имеет примерно на 10% более низкие потери холостого хода.

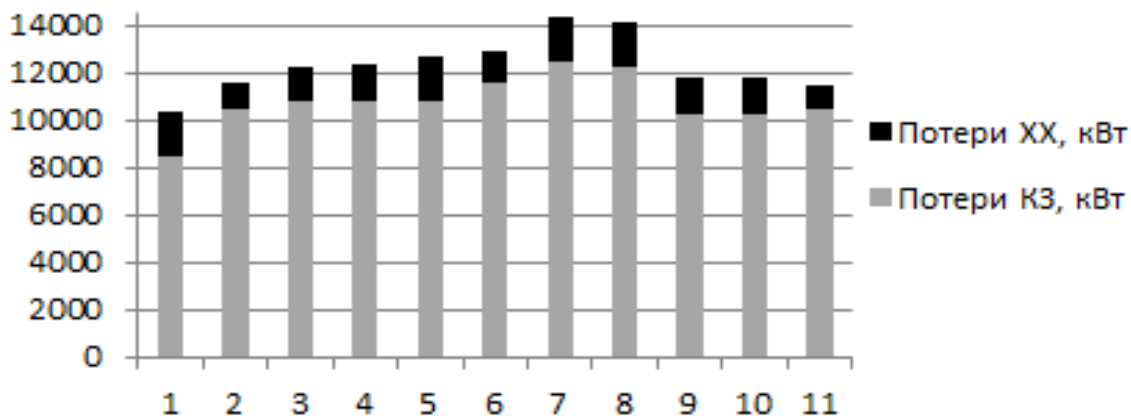


Рисунок 3 - Потери трансформаторов мощности S=1000 кВ·А:
1-ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМГ12; 3ТМГ11; 4-ТМГ; 5-ТНЗ; 6-ТМГ21; 7- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 8-ТМЗ; 9-ТМГ; 10-ТМ; 11-ТМГ15.

Из рисунка 4 видно, что у основной части трансформаторов с номинальной мощностью 1600 кВ·А потери примерно одинаковы. Выделяются лишь ТНЭЗ-1600/10, у которого потери меньше на 5кВт, и ТМ-1600/10, у которого потери примерно на 1кВт меньше относительно других рассматриваемых трансформаторов.

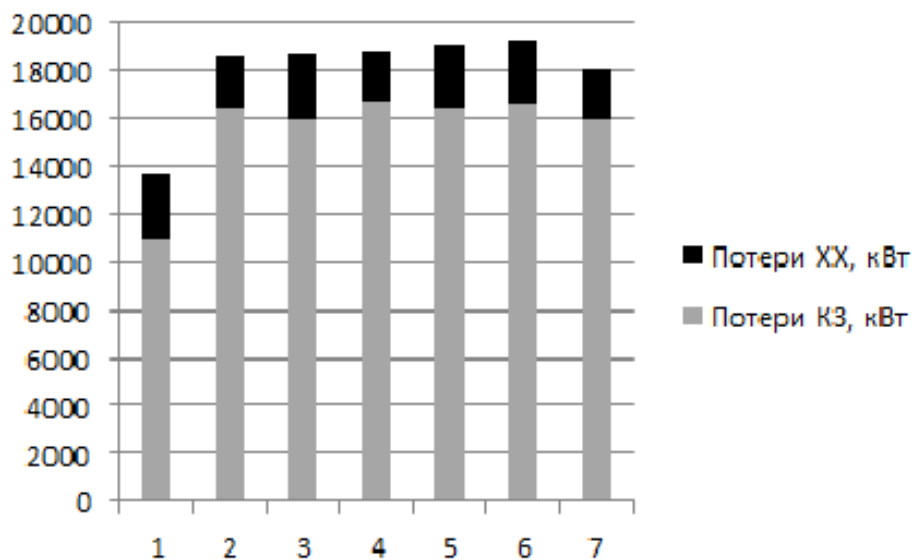


Рисунок 4 - Потери трансформаторов мощности S=1600 кВ·А:
1-ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМГ11; 3- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 4-ТМГ21; 5-ТНЗ; 6-ТМЗ; 7- ТМ.

По показателям массы трансформаторов при мощности 1000 кВ·А наиболее легкий – ТМГ21-1000/10, имеющий массу 2550кг. Трансформаторы серий ТМГ15-1000/10 и ТМГ12-1000/10, имеют равные массы (2820 кг), а ТНЭЗ-1000/10 с медными обмотками с массой 3850кг, является наиболее тяжелым. По сравнению с трансформатором типа ТНЭЗ-1000/10А с обмотками из алюминия, имеющим массу 3330кг, он тяжелее на 520кг.

Для трансформаторов с номинальной мощностью 1600 кВ·А по показателю массы

наблюдается та же тенденция, что и в предыдущем случае: наиболее легкий трансформатор – ТМГ21-1600/10 (4250кг), а ТНЭЗ-1600/10 с медными обмотками - самый тяжелый (5675кг). Массовая разница с ТНЭЗ с обмотками из алюминия (4820кг) увеличилась до 745кг.

Выводы

1. На основе полученных графиков можно сделать вывод, что исполнение обмоток трансформатора из меди позволяет уменьшить потери в обмотках почти на треть и получить меньшую зависимость КПД от коэффициента загрузки. Однако нужно учитывать, что медь примерно в три раза дороже и в два раза тяжелее алюминия.

2. Сравнение трансформаторов типа ТМГ15-1000/10 и ТНЭЗ-1000/10 показывает, что даже при применении для обмоток алюминия можно получить высокие значения КПД и относительно небольшие потери мощности.

Литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П.Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

УДК 621.32

ИНДУКЦИОННЫЕ ЛАМПЫ

Марчук А.В.

Научный руководитель-к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Индукционная лампа — безэлектродная газоразрядная лампа, в которой первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа высокочастотным магнитным полем. Для создания магнитного поля баллон с газом лампы размещают рядом с катушкой индуктивности. Отсутствие прямого контакта электродов с газовой плазмой позволяет назвать лампу безэлектродной. Отсутствие металлических электродов внутри баллона с газом значительно увеличивает срок службы и улучшает стабильность параметров. [4]

Включение и свечение лампы происходит после подачи питающего напряжения на балласт. Электромагнитное поле разогревает амальгаму, испаряя из нее атомы ртути, и разгоняет свободные электроны, которые сталкиваются с атомами ртути и возбуждают их, передавая им свою энергию. Возбужденные атомы ртути, возвращаясь в свое спокойное состояние, выделяют энергию - квант ультрафиолетового света и снова возбуждаются ударяющими их электронами. Невидимый ультрафиолетовый свет, проходя через люминофор, преобразуется в видимое свечение. Реакция в колбе нарастает лавинообразно, мгновенно зажигая лампу и поддерживая в ней горение до отключения питающего напряжения. [2]

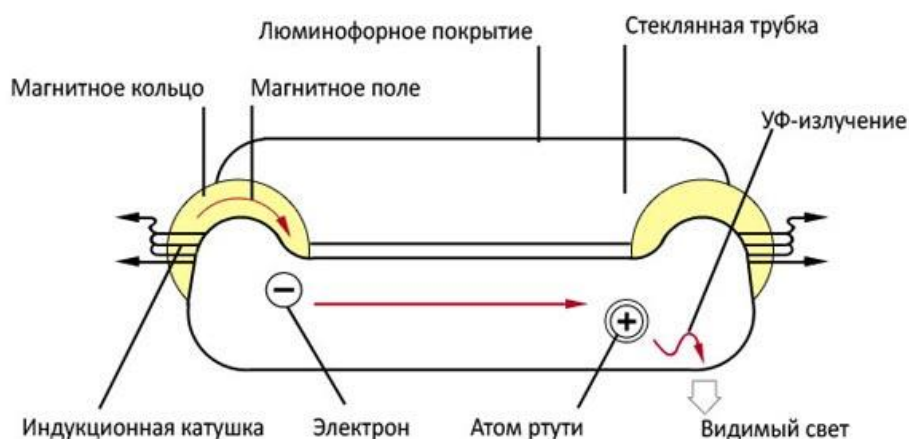


Рисунок 1. Схема работы индукционной лампы

Индукционная лампа состоит из трёх основных частей:

- газоразрядной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором,
- магнитного кольца или стержня (феррита) с индукционной катушкой,
- электронного балласта (генератора высокочастотного тока).

Электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Балласт питается переменным сетевым напряжением 120 В или 220 В (или постоянным 12 В или 24 В) и выпрямляет его. Затем микросхема управления балластом преобразовывает постоянный ток в переменный ток высокой частоты, 225 кГц. За счет регулирования работы лампы балластом, и использования управляющего микропроцессора, КПД балласта достигает 98%. Только 2% энергии тратится на его нагрев, против 10...15% в лампах с обычными балластами, применяемыми в большинстве систем освещения в настоящее время.

Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора. Конструктивно и по принципу работы лампа напоминает

трансформатор, где имеется первичная обмотка с высокочастотным током и вторичная обмотка, которая представляет собой газовый разряд, происходящий в стеклянной трубке. Основным преимуществом и отличием индукционных ламп от газоразрядных является отсутствие термокатодов и нитей накала, что намного увеличивает срок службы ламп. Главной причиной выхода из строя контактных ламп (ДРЛ, ДНАТ, ЛОН) является постепенное разрушение нити накала из-за вибрации, когда лампа включена и нить накала раскалена. Поэтому безэлектродная конструкция исключает эту причину выхода из строя ламп. [3]

Основные характеристики

Срок службы: 60 000 – 150 000 часов (благодаря безэлектродному исполнению срок службы значительно выше, чем у традиционных источников света).[3]

Срок службы данной лампы не зависит от количества включений/выключений, от температуры окружающей среды :

лампа надежно работает в диапазоне температур от -40 до + 50 градусов Цельсия. Благодаря отсутствию нагревающих элементов (спиралей) невосприимчива к вибрациям и встряскам. [5]

Световая отдача:

- номинальная светоотдача: > 80 лм/Вт;

- эффективная светоотдача (видимая): 120 – 180 Флм/Вт (Данный параметр часто используется специалистами для качественной оценки источника света и способности восприятия света и оттенков цветов человеческим глазом. Например, натриевая лампа высокого давления имеет номинальную светоотдачу 70-110 лм/Вт, но реально воспринимается как источник света со светоотдачей 40-70 Флм/Вт); Флм/Вт показывает фотооптическую эффективность, в то время как лм/Вт характеризует эффективность и экономичность источников света.

Цветовые характеристики:

- высокий уровень светового потока после длительного использования (после 60 000 часов уровень светового потока составляет свыше 70% от первоначального);

- высокий индекс цветопередачи (CRI): Ra>80 (комфортное освещение, мягкий и естественный излучаемый свет, что благоприятно сказывается на восприятии оттенков цветов, в отличие от натриевых ламп (Ra>30), которым присущ желто-оранжевый оттенок света и неестественная цветопередача);

- диапазон цветовых температур: 2700К – 6500К;

Напряжение питания: 120/220/277/347В AC, 12/24В DC;

Номинальные мощности: 12 – 500 Вт. [3]

Индукционные лампы применяются для наружного и внутреннего освещения, особенно в местах, где требуется хорошее освещение с высокой светоотдачей и цветопередачей, длительным сроком службы: улицы, магистрали, туннели, промышленные и складские помещения, производственные цеха и др. Светотехническое оборудование на индукционных лампах позволяет обеспечить комфортное освещение помещений и территорий благодаря приближенному к солнечному спектру и отсутствию мерцаний, имея при этом высокую энергетическую эффективность.[3] Благодаря чрезвычайно большому сроку службы ИЛЛ представляют собой идеальный источник света для освещения цехов с непрерывным режимом работы и в случаях, когда доступ к светильникам при обслуживании затруднен, например, при значительной высоте установки (потолки) и загроможденности зон подхода, а также там, где замена ламп связана со значительными материальными затратами. [6]

Индукционные лампы имеют лучшие характеристики, чем традиционные источники света, такие, как ртутные, натриевые и металлогалогенные.

Таблица 1 Сравнительные характеристики индукционных, ртутных, натриевых и металлогалогенных ламп

Параметр \ Лампа	Индукционная	Металлогалогенная	Натриевая	Ртутная
Светоотдача*, лм/Вт	>80; видимая 150 Plm/W	>40; видимая 70 Plm/W	>40...100; видимая 30...80 Plm/W	>30...50; видимая 25...40 Plm/W
Срок службы*, ч	60 000-120 000	3 000-12 000	3 000-20 000	3 000-6 000
Гарантия*, лет	5	1	1	1
Снижение уровня светового потока (%) после 2000 ч	<4	<40	<30	<45
Температура лампы, °С	<85	>250	>250	>250
Индекс цветопередачи, Ra	>80	>60	>30	>25
Повторный запуск через, минут	немедленно	5-15	5-15	5-15
Мерцания	отсутствуют	есть	есть	есть

Исходя из рассмотренных выше характеристик ИЛ, несмотря на техническое преимущество, возникает вопрос об экономической целесообразности замены катодных ламп индукционными. Индукционные лампы дороже и их замена потребует определенных единовременных капиталовложений.

Уличное освещение:

Параметры улицы: длина 3 км, расстояние между опорами 30 м, двустороннее расположение светильников, количество светильников – 200 шт. При расчетах учитывалось, что светильник работает по 10 ч в день.

Выбрана стоимость электроэнергии – 150 руб./кВт•ч.

Итог: использование индукционных ламп вместо натриевых позволяет снизить расходы на электроэнергию более чем в 2 раза (без учета расходов на замену ламп).

Промышленное освещение:

Параметры помещения: высота подвеса светильников – 6-8 м, трехрядное расположение светильников, количество светильников – 90 шт. При расчетах учитывалось, что светильник работает круглые сутки.

Выбрана стоимость электроэнергии – 150 руб./кВт•ч.

Итог: использование индукционных ламп вместо ртутных позволяет снизить расходы на электроэнергию более чем в 3 раза (без учета расходов на их замену).

Расчетные данные приведены в табл.2,3.

Таблица 2 Уличное освещение. Замена натриевых ламп на индукционные лампы

Параметр	Освещение на натриевых лампах			Освещение на индукционных лампах		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	400	480	200	200	216	200
Потребление электроэнергии	28 800 кВт•ч/месяц			12 960 кВт•ч/месяц		
	345 600 кВт•ч/год			155 520 кВт•ч/год		
Экономия электроэнергии, кВт•ч	15 840 кВт•ч/месяц					
	190 080 кВт•ч/год					
	1 900 800 кВт•ч/10лет					
Стоимость электроэнергии, руб.	28 800 кВт•ч x 150 руб. = 4 320 000 руб./месяц			12 960 кВт•ч x 150 руб. = 1 944 000 руб./месяц		
	51 840 000 руб./год			23 328 000 руб./год		
Экономия средств, руб.	28 512 000 руб./год					
	285 120 000 руб./10лет					
Экономия, %	55					

Таблица 3 Промышленное освещение. Замена ртутных ламп на индукционные лампы

Параметр	Освещение на ртутных лампах			Освещение на индукционных лампах		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	400	480	90	150	162	90
Потребление энергии	31 104 кВт•ч/месяц			10 497,6 кВт•ч/месяц		
	373 248 кВт•ч/год			125 971,2 кВт•ч/год		
Экономия энергии	20 606,4 кВт•ч/месяц					
	247 276,8 кВт•ч/год					
	2 472 768 кВт•ч/10лет					
Стоимость электроэнергии	28 800 кВт•ч x 150 руб. = 4 320 000 руб./месяц			10 497,6 кВт•ч x 150 руб. = 1 574 640 руб./месяц		
	55 987 200 руб./год			18 895 680 руб./год		
Экономия средств	37 091 520 руб./год					
	370 915 200 руб./10лет					
Экономия, %	67					

Также следует учитывать затраты на обслуживание светильников. Например, на замену уличной лампы выезжает оборудованная подъемником машина и бригада рабочих, для замены в цеху подвесной лампы требуется частично остановить в нем работу персонала. Зарплата рабочим, стоимость горюче-смазочных материалов в сумме составляют значительную часть затрат на обслуживание светильников с традиционными лампами, срок службы которых в 10 раз меньше, чем у индукционных ламп, а, следовательно, и затраты будут больше. Также стоит помнить, что за период 60 000-120 000 часов, которым определяется срок службы индукционной лампы, придется сменить более 6-10 штук традиционных ламп, применяемых для освещения.

Вывод очевиден: использование в освещении индукционных ламп позволяет окупить денежные вложения спустя 1,5-2 года, значительно снизить потребление электроэнергии, уменьшить количество используемых ламп и стоимость технического обслуживания.

Литература

1. http://elredy.by/induksionnye_lampy/
2. <http://e-elf.ru/Индукционные%20лампы.html>
3. <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/158-2011-05-20-14-44-07.html>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Индукционная_лампа
5. <http://sd-svet.ru/info/stati/lampa-indukcionnogo-osveshheniya.-otvety-na-samye-chasto-zadavaemye-voprosy>
6. <http://www.diagram.com.ua/list/elektriku/elektriku211.shtml>

УДК 621.313

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сикорский Н.Ю.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Параллельной работой нескольких силовых трансформаторов называется такая их работа, при которой к вторичным обмоткам подключена общая нагрузка, а первичные обмотки присоединены к одной электрической сети. Такой режим работы силовых распределительных трансформаторов может применяться в системах электроснабжения промышленных предприятий в следующих случаях:

- для обеспечения бесперебойного электроснабжения электроприемников;
- с целью уменьшения колебаний напряжения в электрической сети вторичного напряжения;
- при наличии суточных или сезонных колебаний нагрузки для снижения потерь электроэнергии в трансформаторах;
- если нагрузка потребителей электроэнергии превышает мощность, на которую может быть выполнен один трансформатор.

Применение параллельной работы цеховых трансформаторов позволяет достичь:

- уменьшения на 25 - 30 % суммарной установленной мощности трансформаторов (по сравнению с раздельной их работой) за счет снижения общей суммарной нагрузки из-за несовпадения максимумов нагрузок потребителей, получающих питание от отдельных трансформаторов. Этому способствует также более высокая степень загрузки параллельно работающих трансформаторов и меньшая требуемая резервная мощность на случай выхода трансформаторов из строя;
- повышения качества электроэнергии из-за стабильного уровня токов короткого замыкания (КЗ) во всей сети, что дает возможность подключения электроприемников с нелинейными нагрузками большей мощности (электросварочные установки, вентильные преобразователи и т.п.). В ряде случаев такой режим работы трансформаторов позволяет осуществлять совместное питание нелинейных нагрузок с электроприемниками, требующих обеспечения качества электроэнергии (световые приборы, компьютеры, микропроцессорные устройства, станки с числовым программным управлением и др.);
- повышения надежности срабатывания защитных аппаратов при однофазных КЗ в электрической сети вторичного напряжения;
- обеспечения возможности поэтапного ввода трансформаторных мощностей по мере роста фактических нагрузок предприятия (цеха);
- снижения потерь электроэнергии трансформаторах за счет рационального режима работы и отключения части ненагруженных трансформаторов при одно- и двухсменных режимах работы предприятия.

При параллельном включении трансформаторов снижаются потери мощности и электроэнергии в СЭС, уменьшаются электромагнитные помехи и повышается качество напряжения в электрических сетях. На параллельную работу могут включаться трансформаторы цеховых подстанций с двумя и тремя трансформаторами. Возможно также включение на параллельную работу трансформаторов подстанций с одним трансформатором через магистральные шинопроводы [1]. Существующие автоматические выключатели и магистральные шинопроводы технически допускают параллельное включение пяти трансформаторов с единичной номинальной мощностью 1000 кВ·А, трех – до 1600 кВ·А и двух - 2500 кВ·А.

При параллельной работе силовых трансформаторов должны соблюдаться следующие условия [2]:

- группы соединения обмоток одинаковые;

- соотношение номинальных мощностей трансформаторов не более 1:3;
- коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
- напряжения КЗ (U_k) отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
- произведена фазировка трансформаторов.

При несоблюдении указанных условий режим работы трансформаторов существенно ухудшается. Например, при разных группах соединений обмоток вторичные линейные напряжения трансформаторов окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга и в цепи трансформаторов появится разностная ЭДС, под действием которой возникает значительный уравнивающий ток. Уравнивающий ток протекает по первичным и вторичным обмоткам и ограничивается только их сопротивлениями. Этот ток вызывает циркуляцию мощности от одного трансформатора к другому, и, следовательно, неравномерную нагрузку трансформаторов, сопровождающуюся увеличением потерь мощности и повышением температуры нагрева трансформаторов.

Уравнивающий ток может превышать номинальный в несколько раз, что равносильно короткому замыканию. Поэтому параллельная работа трансформаторов с различными группами соединения обмоток не допускается.

В случае различия коэффициентов трансформации первичные и вторичные напряжения не равны. В связи с этим, даже в режиме холостого хода (ХХ), в замкнутом контуре вторичных обмоток возникает уравнивающий ток. При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный. При этом трансформатор с более высоким напряжением ХХ (с меньшим коэффициентом трансформации) оказывается перегруженным, а равный ему по мощности трансформатор с большим коэффициентом трансформации – недогруженным. Падения напряжений от уравнивающих токов выравнивают вторичные напряжения обмоток. В общем случае допускается работа трансформаторов с различием коэффициентов трансформации до $\pm 0,5\%$. При этом желательно, чтобы трансформатор с большей мощностью имел меньший коэффициент трансформации.

Если при параллельной работе трансформаторов напряжения КЗ U_k не равны, то перегружается трансформатор с меньшим значением U_k , т.е. с меньшим полным сопротивлением. Относительные мощности (нагрузки) параллельно работающих трансформаторов обратно пропорциональны их U_k . В итоге неравенство U_k приводит к перегрузке трансформатора с меньшим U_k и недогрузке трансформатора с большим U_k .

В этом случае, чтобы не допустить перегрузки трансформатора необходимо снизить общую нагрузку всей группы параллельно работающих трансформаторов, что приводит к недоиспользованию установленной мощности трансформаторов. С учетом того, что практически не всегда возможно подобрать трансформаторы с одинаковыми значениями U_k , действующими нормативными документами допускается включение на параллельную работу трансформаторов при разнице U_k не более чем 10% от их среднего арифметического значения.

В заключение отметим, что параллельная работа силовых трансформаторов оказывает влияние на построение электрических сетей первичного и вторичного напряжения. Поэтому такой режим работы трансформаторов должен быть обоснован.

Литература

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: [учебное пособие для учреждений высшего образования по специальности "Электроснабжение"] / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова - Минск: ИВЦ Минфина, 2015. - 588 с.: ил
2. Электрические машины / Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Часть 1, 1987 г. Ресурс доступа: http://www.induction.ru/library/book_001/glava2/2-14.html

УДК 621.32

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Заранко В.И., Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гаврилович О.Н.

Идея использования газового разряда в качестве источника света появилась давно, однако, ввиду трудности воплощения, массовое развитие данного рода технология получила не сразу.

Широко известно, что в газе при определенной напряженности возникает разряд. В случае, когда мы говорим о светотехнических приборах, это либо дуговой разряд, либо тлеющий разряд. Разряд в газе сопровождается излучением различного спектра, обычно это ультрафиолетовое излучение. В некоторых газах разряд сопровождается также излучением видимого спектра, что обуславливает их применение в промышленности и хозяйственной деятельности человека. В таблице 1 приведены инертные газы, используемые в настоящее время в качестве наполнителей источников света, а также область их применения и цветовая характеристика получаемого излучения.

Таблица 1: характеристики используемых газов

Газ	Оттенок испускаемого видимого излучения	Использование
Гелий (He)	Бело-оранжевый; при некоторых условиях может иметь серый, зеленовато-голубой или голубой оттенок	Используется художниками для специального освещения
Неон (Ne)	Красно-оранжевый	Используется в неоновых рекламных знаках и в неоновых лампах
Аргон (Ar)	Фиолетово-голубой	Используется художниками для специального освещения, зачастую с парами ртути
Криптон (Kr)	Сероватый тусклый грязно-белый. Может быть зеленоватым. В разрядах высокого напряжения яркий синевато-белый	Используется художниками для специального освещения
Ксенон (Xe)	Сероватый или синевато-серый тусклый белый, в разрядах высокого напряжения в высоких пиковых потоках, очень яркий синевато-зелёный	Используется в ксеноновых фотовспышках, лампах подсветки индикаторов, ксеноновых дуговых лампах, а также художниками для специального освещения
Пары ртути (Hg)	Светло-голубой; интенсивное ультрафиолетовое излучение	В сочетании с люминофорами используется для получения света разных цветов. Широко используется во ртутных газоразрядных лампах
Пары натрия (Na)	Ярко жёлтый	Используется в натриевых газоразрядных лампах.

Первыми источниками света, получившими широкое распространение, стали газоразрядные лампы низкого давления, или люминесцентные лампы. Серийный выпуск люминесцентных ламп начался еще в 1936 г, а первые светящиеся трубки появились еще в 1860 г в Англии. Люминесцентная лама представляет собой запаянную с обоих концов

трубку, покрытую слоем люминофора (вещества, которое под воздействием какого-либо возбуждения способно излучать свет). Из трубки откачан газ, она заполнена инертным газом при пониженном давлении, порядка 300 Па, с добавлением ртути. Данные условия являются весьма благоприятными для создания тлеющего разряда. При подаче напряжения на противоположные электроды возникает тлеющий разряд. Тлеющий разряд сопровождается выделением тепла, под воздействием которого ртуть превращается в пар. Разряд сопровождается сильным излучением в ультрафиолетовом спектре, которое преобразуется в видимый спектр люминофором.

Интересным фактом является то, что ввиду того, что ртуть в них добавлена с избытком, могут светиться в достаточно сильном электромагнитном поле, которое не так уж и тяжело встретить. Источником такого электромагнитного излучения могут стать, к примеру, другие электроприемники или линии электропередач. Значительная длина трубчатых люминесцентных ламп обуславливает появление на концах лампы разности потенциалов, ввиду чего по парам ртути протекает ток, приводящий к появлению такого свечения.

В Великобритании находится поле, в которое один местный энтузиаст, Ричард Бокс, поместил 1301 люминесцентную лампу после того, как узнал о возможности такого свечения. Трубчатые люминесцентные лампы вставлены одним концом в землю и расположены в месте, где провес проводов воздушных линий имеет наибольшее значение. Разности потенциалов между концами лампы оказалось достаточно для ее зажигания. Однако в таких условиях лампа дает световой поток гораздо меньше номинального. Расчеты, имеющее эмпирическое подтверждение, показывают, что при снижении подведенного напряжения на 10% от номинального, световой поток уменьшается на 15 %.

Свечение инертного газа под действием внешнего ионизатора, находящегося вне колбы, нашло широкое применение в индукционных лампах. Индукционная лампа — безэлектродная люминесцентная лампа, в которой газовый разряд инициируется с помощью электромагнитного поля. Они позиционируются производителями как энергосберегающие источники качественного света, по техническим характеристиками превосходящие традиционные виды источников освещения.

Впервые безэлектродную лампу продемонстрировал Н. Тесла на Всемирной колумбийской выставке в Чикаго в 1893 г. Она была похожа на большой шар и светилась странным зеленоватым светом. Питалась она от электромагнитного поля вблизи катушки Тесла. В 1904 г. П. Хьюитт разработал индукционную лампу, в которой использовались пары ртути. Лампы имели форму сферы и двояной сферы с внешним и внутренним дросселем. В 1967 г. Дж. Андерсон разработал первый надежный прототип индукционной лампы, а в 1994 г. его компактная лампа GENURA (впервые ВЧ- генератор был расположен в цоколе лампы) вышла на рынок. Первые серийные образцы индукционных люминесцентных ламп (ИЛЛ) были выпущены в 1991-92 гг. Лидерами в производстве ИЛЛ стали иностранные фирмы PHILIPS Lighting, GE Lighting, OSRAM.

Российские ученые также занимались практической разработкой таких ламп. Источники света с индуктивным возбуждением в СССР выпускались серийно в 60-х годах прошлого века. Например, выпускалась ультрафиолетовая косметическая лампа «ФОТОН», в которой источником света являлся шарик диаметром 2 см., рядом с которым располагалась катушка ВЧ-генератора 27, 12 МГц. Были созданы экспериментальные образцы ИЛЛ мощностью от 100 Вт до 100 кВт. Однако ввиду отсутствия финансирования исследования были прекращены. В настоящее время монополия на производство этих ламп принадлежит Китаю.

Основные элементы конструкции индукционной лампы:

- а) стеклянная трубка тороидальной формы, заполненная инертным газом: аргоном или криптоном, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, от вида которого зависит цвет свечения (как и в обычных люминесцентных лампах). В специальном отростке колбы содержатся шарики амальгамы;
- б) магнитопровод с системой первичных обмоток;

в) электронный балласт (генератор высокочастотного тока).

Электронный балласт подключается к сети синусоидального напряжения 127/220/380 В (или к источнику постоянного напряжения 12 или 24 В). Система управления балластом преобразует переменный ток частотой 50 Гц в переменный ток высокой частоты (190–250 кГц или 2,65 МГц) и может изменять частоту и силу тока через катушку индуктора для обеспечения стабильной работы лампы. Электромагнит и индукционная катушка создают высокочастотное электромагнитное поле, атомы ртути возбуждаются (газовый разряд), возникает ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется люминофором в видимое свечение. Как и в стандартных люминесцентных лампах, различное сочетание люминофоров в покрытии колбы дает различные цвета свечения. Наиболее общие цветовые температуры свечения ламп: 3500, 4100, 5000, 6500 К

Существуют два типа конструкции индукционных ламп: *индукционная лампа с отдельным балластом* и *индукционная лампа со встроенным балластом*. По виду индукции также возможны два типа индукционных ламп: магнитное кольцо расположено вокруг трубки (*внешний индуктор*) или *внутри* её. Лампы с внешним индуктором (их еще называют низкочастотными лампами, рабочая частота 190–250 кГц) имеют лучшие условия теплообмена с окружающей средой, поэтому у них более высокий КПД преобразования и длительный срок службы 90000–100000 ч по сравнению с лампами с *внутренним индуктором* (высокочастотные лампы, рабочая частота 2–3 МГц, индукционная катушка намотана на ферритовый сердечник, находящийся внутри колбы). В последних тепло, выделяемое катушкой, оказывается внутри полости лампы (имеют более высокую рабочую температуру) и выводится излучением через стеклянные стенки колбы и теплопередачей через цоколь. Такие лампы похожи на обычные лампы накаливания и имеют срок службы 60000–75000 ч. Внутренний индуктор лампы имеет более низкий КПД преобразования.

В настоящее время индукционные лампы применяются для освещения промышленных, общественных, торговых и жилых помещений, городских улиц, пешеходных зон, а также архитектурной и художественной подсветки, также используются в сельскохозяйственных предприятиях. Например, российская компания «Наносвет» предлагает индукционные лампы для тепличных хозяйств. Лампа излучает свет в двух диапазонах: синий и красный, что ускоряет рост растений. При этом экономия электроэнергии достигает от 35–70%

В 2012 году проводились испытания ламп в Москве (метрополитен), Екатеринбурге (уличное освещение), Миассе, а также на промышленных предприятиях. Все испытания подтвердили высокую экономичность, потребление электроэнергии уменьшилось в 3–5 раз. При этом отмечалась стабильная работа светильников при пониженном напряжении. Результаты производственных испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2: результаты производственных испытаний

Источник света	ИЛЛ	Светодиоды	ДРЛ	ДРИ
Н, лм/Вт	80-100	110	70-140	40-60
Ra	80-90	80-90	25-30	40-60
τ, час	100000	100000	20000	7000
tr, °С	-40°С - +40°С	-60°С - +40°С	-60°С - +45°С	-40°С - +40°С
τ _{вкл}	0,01 с	0,01 с	10 мин	7-10 мин
Кп	0,1	0,1	4,9	7,3
cosφ	0,74-0,95	0,74-0,95	0,5	0,5
T, К	2700 - 6500	2700 - 6500	2300 - 2900	2300 - 2900
Диммирование	есть	есть	нет	нет
Потеря светового потока	10%-15% после 30000 часов	25% по 50000 часов	20%-40% после 5000 часов	30%-60% после 3000 часов
Экология	амальгама	безопасно	ртуть	ртуть
Горячий запуск	есть	есть	нет	нет
Стоимость,	4.000.000 +	5.500.000	2.000.000 +	2.000.000 +

бел. руб.	+ 2.000.000		+ 150.000	+ 60.000
-----------	-------------	--	-----------	----------

Однако, у индукционных ламп имеется ряд недостатков, наиболее значимыми из которых являются их размеры, производимое ими электромагнитное излучение и рабочая температура.

В таблице 3 приведены результаты испытаний ООО «Арсенал-А», наглядно отображающие значимость такого недостатка индукционных ламп, как наличие электромагнитного излучения.

Таблица 3: результаты производственных испытаний ООО «Арсенал-А»

Расстояние от источника, м	Значение напряженности электромагнитного поля, мВ/м	
	измеренное	допустимое
0,5	90	25
1	7	25
2	2	25
3	–	25

Как мы можем видеть, уже на расстоянии 3-х метров от источника прибор не улавливает никаких электромагнитных волн. Так как индукционные светильники в основной своей массе предназначены для освещения помещений с высокими пролётами, размещают их на высоте от 6 метров и выше. На этом расстоянии, говорить о каком либо вредном воздействии электромагнитного поля на человека, было бы не корректно. Хотя в паспорта индукционных светильников необходимо добавить примечание с рекомендациями о размещении индукционных светильников на расстоянии более 1 метра от предполагаемого места нахождения людей.

Говоря о рабочей температуре, необходимо отметить, что практическое применение индукционных ламп показывает, что при -20°C , для достижения 70% светового потока от номинального значения необходимо 20 минут. Поэтому многие производители стали предупреждать про влияние холода на режим работы индукционной лампы.

Внушительные размеры светильников для индукционных ламп создают в некоторых ситуациях проблемы. Например, в складских помещениях стеллажи для товара устремляются вплоть до потолка, это все осуществляется для рационального использования площади помещения, однако установка индукционных светильников вызывает некоторые затруднения из-за больших габаритов.

Рассматривая вкупе данные проблемы можно сказать, что преимуществ у современного индукционного освещения, несомненно, больше. Но почему же современные источники света не пользуются популярностью на просторах рынка Республики Беларусь? Ответ прост: главным фактором в проведении тендеров является стоимость. И несмотря на отсутствие необходимости в эксплуатации данных источников освещения, снижения затрат на обслуживающий персонал, в наших реалиях все же необходимо исходить из условий минимальной стоимости на продукцию.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение индукционных источников света в промышленности, уличном освещении и для тепличных хозяйств является целесообразным в точки зрения энергосбережения и технических характеристик.

Литература

1. Кунгс Я.А., Ковалева О.А., Кибардин В.В., Журнал «Вестник Красноярского государственного аграрного университета»
2. Борис Алексеев. Журнал: «Электроника инфо». Статья: «Индукционная лампа – источника качественного и энергоэффективного освещения»
3. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник - Минск: Техноперспектива, 2011. 543 с., [12] л.цв.ил.
4. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений: [Учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов]. – 2-е изд., перераб. и доп.–Мн: Выш. школа, 1982.–367с. ил.

СЛАБЫЕ ЗВЕНЬЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А. Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В. Н.

Надежность изделия в целом определяется характеристиками надежности входящих в него элементов. Описывая технические характеристики светодиодного светильника производитель, как правило, делает упор на типы используемых светодиодов. Тем не менее, надежность светильника определяется не столько светодиодами, сколько блоком питания. Однако некоторые важные параметры данного узла не сообщаются производителями даже по запросу. Поэтому задача выбора светильников с качественными блоками питания является весьма сложной.

Блоком питания (БП) называется источник питания преобразующий электрическую энергию от сети. В светотехнике для обозначения БП часто жаргонно используется термин «драйвер». На самом деле, драйвер — это устройство, которое стабилизирует ток, питающий светодиоды. Другими словами, БП – источник напряжения, а драйвер – источник тока. Некоторые драйверы способны регулировать световой поток у светодиодов, т.е. диммировать их. Но драйвер не выполняет функций преобразования питающего напряжения и выпрямления тока. Тем не менее, на некоторых БП можно встретить слово driver, означающее в данном контексте стабилизацию выходного тока.

По своей конструкции БП можно разделить на две большие категории — изолированные и неизолированные. Особенностью изолированного БП является то, что его выход не имеет гальванической связи с входом. В принципе, БП изолированного типа — это и есть та самая классическая конструкция БП на основе трансформатора. Отличия от классического варианта в том, что трансформатор работает не на частоте сети, а на более высокой частоте. Изолированные БП стоят относительно дорого, но они хорошо справляются с бросками напряжения и импульсными помехами, которые есть в электрических сетях.

Неизолированные БП имеют гальваническую связь с выходом. Преимуществами неизолированных БП являются компактность, низкая цена и немного больший КПД, чем у изолированных БП.

По месту размещения БП делятся на внешние (размещаются вне корпуса) и внутренние (размещаются внутри корпуса светильника). При этом внешние БП могут идти в комплекте со светильником или приобретаться отдельно /1/.

Светодиоды не излучают энергию в инфракрасном диапазоне длин волн (как устройства на базе других технологий), они излучают свет только в видимом спектре. Поэтому, несмотря на то, что светодиоды более энергоэффективны, чем другие источники света, они рассеивают намного больше тепла в самой лампе. КПД также играет большую роль в выделении тепла. Например, при его снижении с 95 до 85% рассеиваемая мощность уменьшается вовсе не на 10%. Напротив — количество рассеиваемого тепла увеличивается в 3,3 раза. Рассмотрим серию популярных 150-Вт устройств EUC-150S с постоянным выходным током. Как видно из рисунка 1, если КПД при полной нагрузке и напряжении 220 В АС составляет 92%, величина рассеиваемой мощности равна 13 Вт. Изменение КПД всего лишь на 1% может привести к заметному изменению потерь мощности. Поскольку у разных моделей драйверов величина КПД может значительно варьировать, температура внутри корпусов устройств существенно различается /4/.

Следствием рассеиваемого тепла является ограничение срока службы компонентов драйвера. Для того, чтобы излучать больше света, лампа должна работать при довольно высокой температуре — часто от 80 до 100°C. При такой температуре срок службы платы драйвера может влиять на долговечность в целом. Особую проблему представляют собой транзисторы и электролитические конденсаторы.

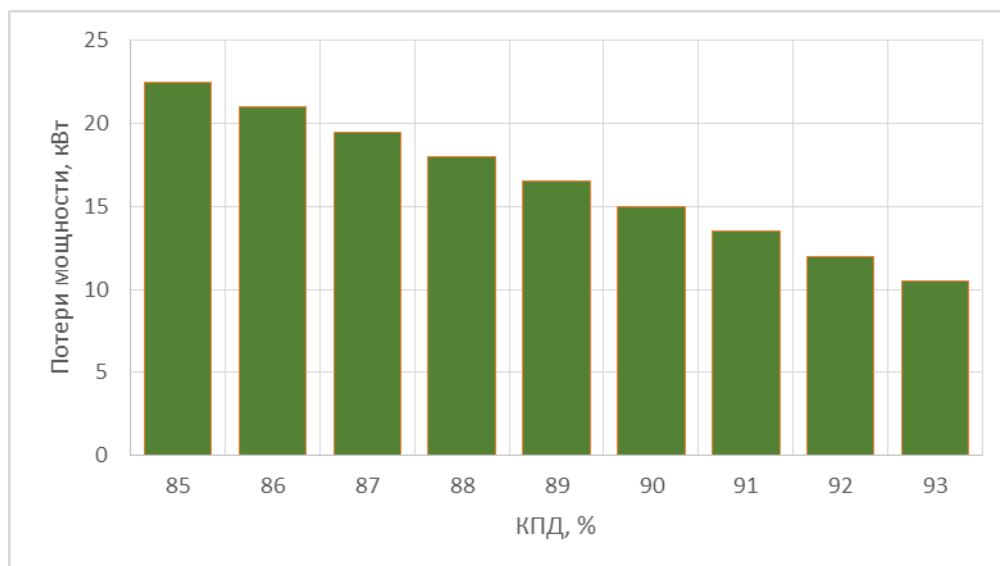


Рисунок 1. Зависимость потерь мощности от КПД для 150-Вт драйвера

Транзисторы, входящие в состав драйвера светодиодного светильника, также являются элементами, чей срок службы сильно зависит от температуры. 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 (λ – принимается постоянным в течение определенной наработки и соответствует номинальному электрическому режиму нормальным условиям эксплуатации). 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:

-для биполярных транзисторов - $\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_d K_U K_{\text{э}} K_{\text{п}}$;

-для полевых транзисторов - $\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_{\text{э}} K_{\text{п}}$,

где λ_0 - базовая интенсивность отказов элементов данной группы (или конкретного типа), отвечающая температуре окружающей среды +25 °С и номинальной электрической нагрузке; K_p - коэффициент режима работы, зависящий от температуры корпуса элемента; K_{ϕ} - коэффициент, учитывающий функциональный режим работы прибора; K_d - коэффициент, зависящий от значения максимально допустимой по ТУ нагрузки по мощности (или току); K_U - коэффициент, зависящий от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ (коэффициента нагрузки по напряжению); $K_{\text{э}}$ - коэффициент эксплуатации, зависящий от жёсткости условий эксплуатации; $K_{\text{п}}$ - коэффициент приёмки, учитывающий степень жёсткости требований к контролю качества и правила приёмки элемента в условиях производства. Значения этих параметров сведены в таблицу 1 /2/.

Таблица 1 – Значения параметров математической модели

Тип транзистора	Параметры, входящие в математическую модель					
	$\lambda_{\text{Б}} \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	K_{ϕ}	K_d	K_U	$K_{\text{э}}$	$K_{\text{п}}$
Биполярные кремниевые	0,044	1,5	0,5	3,03	1,5	5,5
Полевые кремниевые	0,065	1,5	1	1	1,3	5,5

Коэффициент режима работы K_p зависит от температуры окружающей среды. Его значения могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_p = A \cdot \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{окр} + \Delta t} + \left(\frac{273 + t_{окр} + \Delta t}{T_M} \right)^L \right],$$

где $A, N_T, T_M, L, \Delta t$ – константы модели. Для транзисторов $A=5,5; N_T= -1162; T_M= -448; L=13,8; \Delta t=150 /2/$.

Наработка на отказ вычисляется по формуле: $T_0 = \frac{1}{\lambda_э}$.

Результаты расчета показателей надежности транзисторов при различных температурах окружающей среды сведены в таблицу 2. График зависимости наработки на отказ от температуры окружающей среды приведен на рисунке 2.

Таблица 2 – Расчет показателей надежности при различных температурах

Тип транзистора	Параметр	$t_{окр}, ^\circ\text{C}$				
		50	60	70	80	90
Биполярные кремниевые	K_p	3,7	7,9	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_э, 10^{-6} \cdot \text{ч}^{-1}$	3,05	6,52	17,22	59,69	292,12
	$T_0, \text{ч}$	327851,89	153479,41	58081,63	16753,09	3423,23
Полевые кремниевые	K_p	3,70	7,90	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_э, 10^{-6} \cdot \text{ч}^{-1}$	2,58	5,51	14,55	50,44	246,87
	$T_0, \text{ч}$	387951,61	181614,28	68728,79	19824,16	4050,76

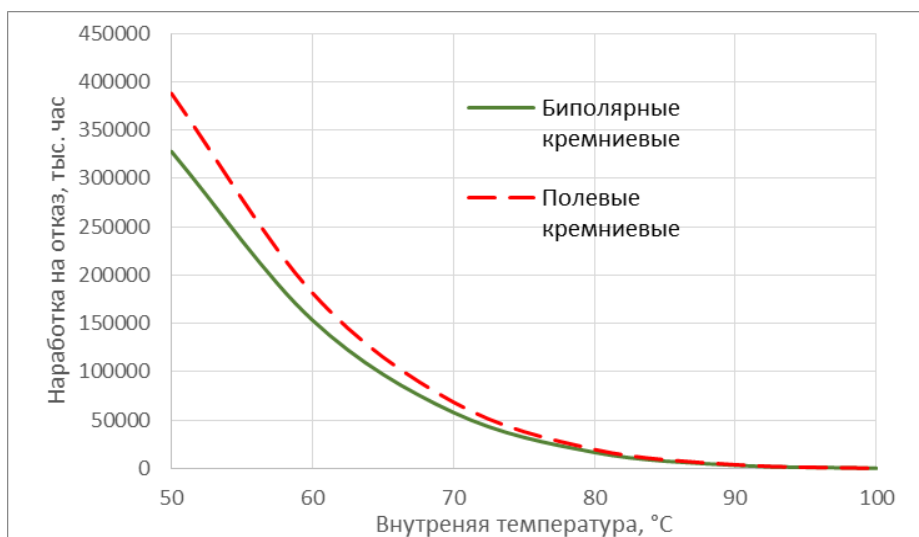


Рисунок 2. Зависимость наработки на отказ транзисторов от температуры окружающей среды

Результаты расчета подтверждают факт снижения срока службы транзистора с увеличением температуры окружающей среды.

Конденсаторы, которые используются в драйвере, при рабочих температурах светильника довольно быстро высыхают. Их срок службы ограничен немногим более 10000 часами, и это становится лимитирующим фактором для длительности работы всей лампы. Выражение для срока службы электролитического конденсатора выглядит следующим образом:

$$L_x = k \cdot L_0 \cdot 2^{(T_s - T_a)/10},$$

где L_x — срок службы; k — коэффициент, определяемый СКЗ тока пульсаций конденсатора и его рабочим напряжением; L_0 — величина срока службы, определенная в стандартных условиях и приведенная в техническом описании компонента; T_s — номинальная температура корпуса; T_a — рабочая температура корпуса. Из уравнения видно, что понижение температуры на 10° увеличивает срок службы в два раза /3/.

Проблему можно решить полной заменой электролитических конденсаторов на керамические, которые являются практически «вечными» электронными компонентами. График на рисунке 3 показывает пример деградации ресурса светодиодной лампы в зависимости от внутренней рабочей температуры лампы. Как можно видеть, при температуре около 80°C срок службы уменьшается для ламп, использующих электролитические конденсаторы по сравнению с лампами, которые используют керамические /4/.

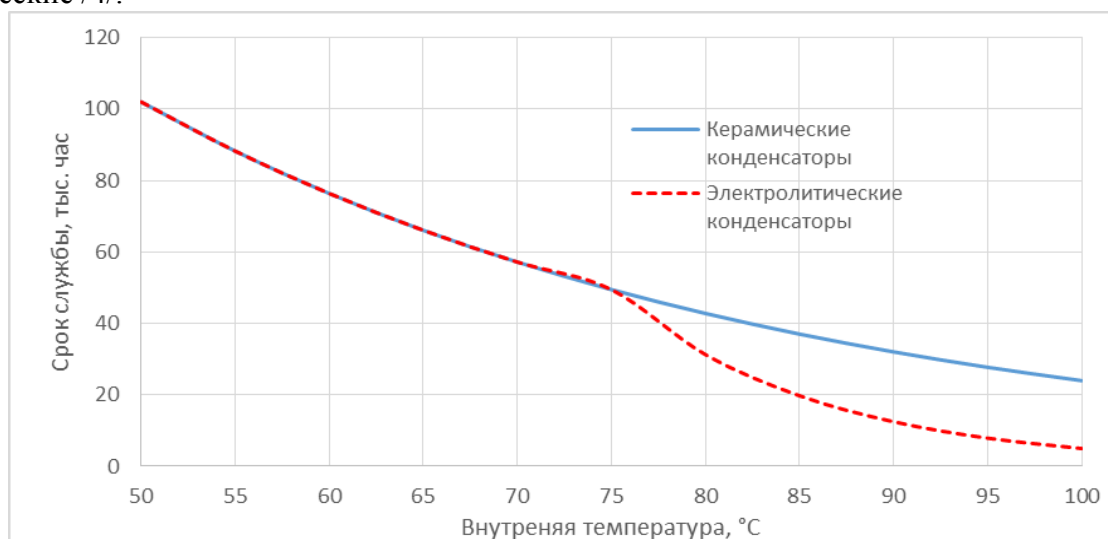


Рис. 3. При увеличении внутренней температуры лампы ее срок службы уменьшается. Лампы, использующие электролитические конденсаторы на платах драйверов (красная линия) имеют меньший срок службы, чем лампы с керамическими конденсаторами (синяя линия)

Но здесь возникает вопрос цены по отношению к емкости конденсатора и общей целесообразности. Нет смысла в установке конденсаторов со сроком службы 100 тыс. часов в драйвер светильника, светодиоды которого прослужат 50 тыс. часов.

Теоретически оптимальным выбором является БП, специально разработанный для определенной модели светильника. На практике это могут удачно реализовать либо компании, имеющие, помимо светотехнического, еще и мощный бизнес по производству электронных устройств (LG, Philips), либо светотехнические компании, чьи БП хорошо зарекомендовали себя на рынке (Osram). В остальных случаях предпочтительным вариантом является использование в светильнике БП от ведущих фирм, специализирующихся на данном виде продукции (Meanwell, Helvar, Vossloh-Schwabe и некоторые другие). Использование унифицированного БП легкой заменяемой конструкции важно еще и для возможного ремонта светильника, так как БП обычно выходит из строя быстрее, чем светодиоды /1/.

Литература

1. Блок питания как «слабое звено» светодиодного светильника [Электронный ресурс] URL: <http://www.elec.ru> (дата обращения 08.04.2016).
2. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.
3. Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://www.ptelectronics.ru> (дата обращения 08.04.2016).

4.Срок службы светодиодных светильников [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru> (дата обращения 04.04.2016).

УДК 621.313

КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ ВЭУ

Микитич Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н. Олешкевич М.М.

Выбор типа генератора является основным вопросом комплектации ветроэнергетических установок. В настоящее время, независимо от мощности и вида крыльчатки, практически всегда в них устанавливают асинхронные генераторы. Для применения на ВЭУ возможны следующие типы генераторов:

- 1) асинхронные генераторы с к.з. ротором;
- 2) синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением;
- 3) асинхронизированный синхронный генератор;
- 4) асинхронные генераторы с фазным ротором;
- 5) синхронные генераторы (СГ) с магнитоэлектрическим возбуждением, т.е. с возбуждением от постоянных магнитов.

АГ с к.з. ротором

Асинхронный генератор проще синхронного по конструкции, дешевле и значительно надежнее, если в качестве асинхронного генератора использовать асинхронную машину с короткозамкнутым ротором. Он позволяет в некоторых пределах регулировать частоту вращения, но нуждается в реактивной мощности для возбуждения и всегда работает с отстающим током. При автономной работе асинхронного генератора должны быть обеспечены условия самовозбуждения. В качестве источника реактивной мощности используется батарея конденсаторов.

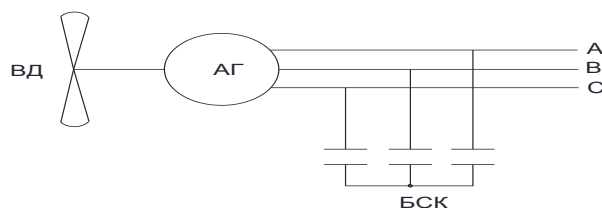


Рис. Принципиальная схема АГ с к.з. ротором при автономной работе.
ВД- ветродвигатель; АГ-асинхронный генератор; БСК- батарея статических конденсаторов.

Преимущества:

- 1) простота и надежность в обслуживании;
- 2) невысокая стоимость;
- 3) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе и при переменной скорости ветра и его порывах;
- 4) возможно устанавливать безредукторные установки с хорошими массогабаритными показателями, высоким КПД и возможностью регулировать напряжение и его частоту в широких пределах;

Недостатки:

- 1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20-30 об/мин). Поэтому генератор присоединяют через редуктор с высоким коэффициентом преобразования ($K_{ред}=50-70$), что требует дополнительных расходов на установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума;
- 2) невозможно управлять режимными параметрами, что необходимо при порывистом ветре;
- 3) для работы в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности;

4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств;

СГ с магнитоэлектрическим возбуждением

Синхронные генераторы с магнитоэлектрическим возбуждением с применением современных высокостабильных высококоэрцитивных магнитов из редкоземельных сплавов обладают высокой надёжностью и компактностью. Схема обеспечивает бесконтактное возбуждение (самовозбуждение) генератора и стабилизацию выходного напряжения при переменной частоте вращения и нагрузке.

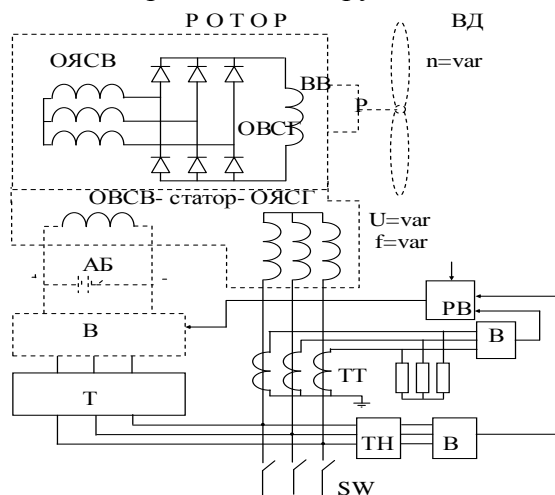


Рис.Схема бесконтактного возбуждения СГ от синхронного возбудителя с вращающимся выпрямителем. ВД-ветродвигатель; Р-редуктор; ОВСГ-обмотка возбуждения СГ; ОЯСВ-обмотка якоря возбудителя; ВВ-вращающийся возбудитель; ОЯСГ-обмотка якоря СГ; ОВСВ-обмотка возбуждения возбудителя; В-выпрямитель; РВ-регулятор возбуждения; ТТ-трансформатор тока;ТН-трансформатор напряжения; АБ-аккумуляторная батарея; SW-автоматический выключатель.

Преимущества:

- 1) исключение скользящего контакта;
- 2) высокая надежность работы;
- 3) высокое значение КПД;

Недостатки:

- 1) постоянство магнитного потока, невозможность его регулировать;
- 2) высокая стоимость;

АГ с фазным ротором

При переходе генератора в двигательный режим он должен быть отключён от системы или от ветродвигателя. В последнем случае ветроустановка должна иметь между ветродвигателем и генератором электромагнитную или механическую муфту. При её отключении генератор переходит в двигательный режим без нагрузки. При использовании асинхронного генератора с фазным ротором эту задачу можно выполнить размыканием цепи ротора и переводом в режим холостого хода с разомкнутым ротором.

Преимущества:

- 1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами;
- 2) простота и надёжность в обслуживании;
- 3) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе, при переменной скорости ветра и его порывах;

Недостатки:

- 1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20- 30 об/мин). Необходим редуктор с высоким коэффициентом преобразования ($K_{ред}=50-70$), что требует дополнительных расходов на установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума;

- 2) невозможно управлять режимными параметрами, что бывает необходимо при порывистом ветре;
- 3) в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности;
- 4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств;
- 5) наличие скользящего контакта, что снижает надежность;

СГ с электромагнитным возбуждением

Нецелесообразно применение синхронных генераторов с возбудителями постоянного тока из-за низкой надежности коллекторной машины постоянного тока. Перспективны схемы с бесконтактным электромагнитным возбуждением и с магнитоэлектрическим возбуждением с использованием современных высококоэрцитивных постоянных магнитов из редкоземельных элементов.

Преимущества:

- 1) возможность управления реактивной мощностью с генераторной стороны;

Недостатки:

- 1) выше стоимость, сложнее конструкция, ниже надежность, чем у АМ;
- 2) наличие скользящего контакта и необходимость источника постоянного тока для обмотки возбуждения;
- 3) жесткая зависимость частоты ЭДС от скорости вращения. Это ограничивает, а в регионах с резкими порывами ветра делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть без ППЧ;

Асинхронизированный синхронный генератор -это неявнополюсная бесколлекторная машина переменного тока, например, асинхронная машина с фазным ротором с 3-фазными обмотками на статоре и роторе.

Асинхронизированная машина может работать с переменной частотой вращения в синхронном или асинхронном режиме, в режиме недовозбуждения или перевозбуждения, так как ротор питается от постороннего источника – возбудителя.

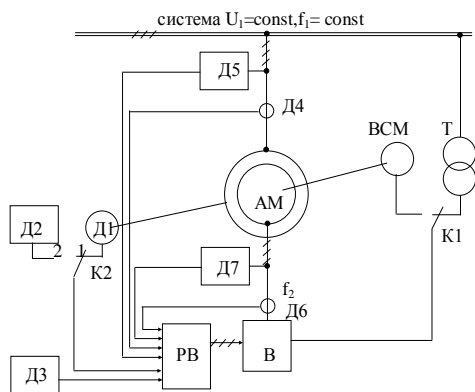


Рис.
Асинхронизированная
синхронная машина

В-возбудитель; ВСМ-вспомогательная синхронная машина; Т-трансформатор; РВ-регулятор возбуждения; Д1-датчик углового положения ротора; Д2-датчик независимой частоты; Д3-датчик тригонометрических функций угла вектора напряжения системы; Д4,Д5,Д6,Д7-датчики токов и напряжений статора и ротора.

Преимущества:

1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами. Возможно каскадное соединение с АГ или соединение с АГ и ДПТ с параллельным возбуждением;

2) Большая устойчивость;

Недостатки:

1) наличие на роторе скользящего кон- такта для подвода напряжения к обмотке возбуждения ротора и необходимость в преобразователе частоты для регулирования напряжения возбуждения;

2) при отклонении скорости от синхронной требуется значительное увеличение реактивной мощности и напряжения в обмотке возбуждения;

Выводы.

Многие страны последние 20-25 лет уделяют особое внимание развитию нетрадиционных способов получения энергии, и в частности, использованию энергии ветра. Расширение использования ВЭУ может идти в направлениях:

–обеспечение электроэнергией различных малых объектов (25-100кВт).

–обеспечение совместной работы с существующими энергосистемами традиционной энергетики (3-15 МВт).

–снабжение электроэнергией промыслов нефтегазовой отрасли, удаленных от центральных систем энергоснабжения (передвижные и стационарные ВЭУ мощностью 100- 1000 кВт.)

Классические по конструкции СГ с электромагнитным возбуждением устанавливаются на установках либо малой, либо очень большой мощности. Технология изготовления и опыт расчета таких машин позволяет регулировать напряжение в широких пределах за счет изменения тока возбуждения.

У СГ существует жесткая зависимость частоты генерируемой ЭДС от скорости вала. Если ветер нестабилен, то в генераторе появляются высокие значения переменных составляющих в режимных параметрах, ухудшается работа таких генераторов параллельно с сетью. Это ограничивает, а в регионах с резкими порывами ветра делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть. При такой работе между генератором и сетью устанавливают полупроводниковый преобразователь частоты.

Асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ) находятся скорее в стадии разработки, чем в стадии промышленного применения. У АСГ к симметричному в магнитном отношении ротору, через три кольца, к трехфазной (иногда, двухфазной) обмотке возбуждения подводят напряжение, величина и фаза которого изменяется пропорционально скольжению. Регулирование напряжения возбуждения осуществляется за счет преобразователя частоты.

Установлено, что в автономных электрических сетях, при использовании ВЭУ мощностью до 200 кВт, рекомендуется применение синхронных генераторов (СГ) с постоянными магнитами (СГПМ), которые имеют преимущества по надежности, экономическим показателям и КПД.

Литература.

1. Нетрадиционные источники энергии : учеб.-метод. пособие для студентов высших учебных заведений специальности 1 43-01 03 «Электроснабжение»/ М.М. Олешкевич.– Минск:БНТУ,2007.– 144с.

2 Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов. // Вестник Щецинского технического университета, Польша, 2001.

3. Ass Ext., Hall D. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. // Oxford Unit. Press, 1996

УДК 658.26

ПРЕИМУЩЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ, ВЫПОЛНЕННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Миренков А.С.

Научный руководитель - старший преподаватель Прокопенко Л.В.

В настоящее время в качестве материала сердечников трансформатора тока используют электротехническую сталь и нанокристаллические сплавы. Нанокристаллические сплавы начали применяться в конце 80-х годов прошлого столетия в электротехнической промышленности США и Японии [1]. Эти сплавы на основе железа, кремния, бора, ниобия и меди получают путем розлива расплава через тонкую $\sim 25\text{мкм}$ фильеру на поверхность вращающегося с большой скоростью охлаждаемого вала. При высокой скорости охлаждения (до 1 миллиона градусов в секунду) атомы сплава не успевают сформировать крупнокристаллическую решетку. Сплав, таким образом, приобретает аморфный, нанокристаллический характер, когда размеры кристаллов и доменов в тысячи раз меньше обычных и уникальные магнитно-электрические свойства [1].

Поскольку трансформаторы тока (ТТ) работают в установившемся режиме в малых полях, то для их изготовления необходимо использовать материалы не только с большой магнитной проницаемостью, но и с высокой начальной магнитной проницаемостью.

Высокая начальная магнитная проницаемость и линейность характеристики намагничивания позволяет обеспечить метрологические характеристики ТТ с магнитопроводами из нанокристаллических сплавов во всем диапазоне изменения измеряемых токов. Характеристика намагничивания магнитопроводов из электротехнической стали в начале диапазона имеет нелинейный характер, чем и объясняется увеличенная погрешность измерений в диапазоне до 20% $I_{ном}$.

На рис.1 представлены типовые петли гистерезиса для электротехнической стали и нанокристаллического сплава [1].

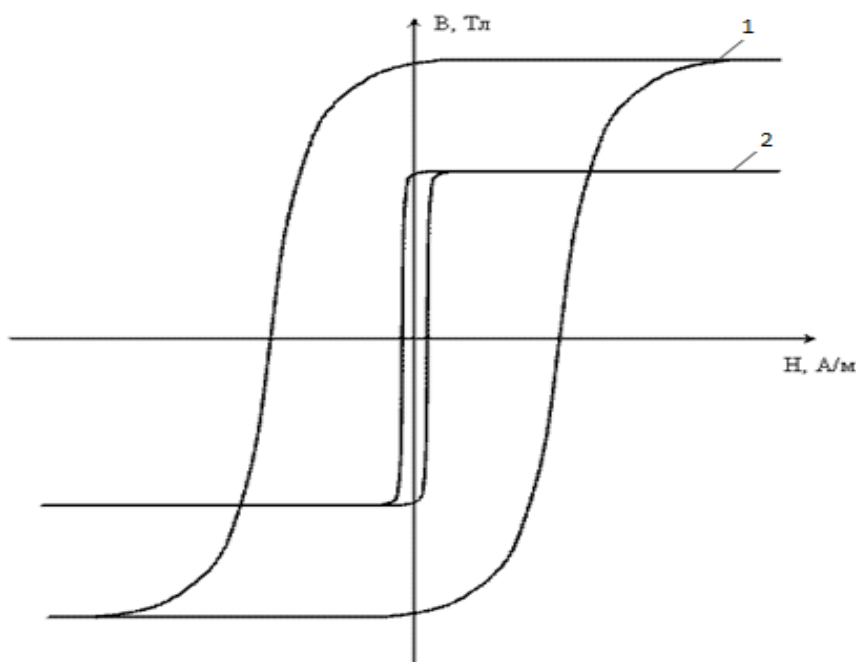


Рисунок 1. Петля гистерезиса для электротехнической стали и нанокристаллического сплава. где 1 – электротехническая сталь 2 – нанокристаллический сплав

Сравним характеристики электротехнической стали и нанокристаллического сплава [1].

Таблица 1. Сравнительная таблица характеристик материалов

Характеристика\Вид материала	Электротехническая сталь	Нанокристаллический сплав
Начальная магнитная проницаемость	20000	50000
Максимальная магнитная проницаемость	25000	80000
Магнитная индукция насыщения, Тл (при $H=800$ А/м)	1,75	1,2
Коэрцитивная сила (А/м)	80	2,5

Значение магнитной индукции насыщения для нанокристаллических сплавов меньше, чем для электротехнической стали, что позволяет снизить коэффициент безопасности.

Очень низкое значение коэрцитивной силы у нанокристаллического сплава практически исключает возможность намагничивания сердечника постоянным током. Полное перемагничивание сердечника при подаче переменного тока происходит уже при напряженности магнитного поля и значениях первичного тока 1-2 процента.

Для сердечников же из электротехнической стали, которые могут намагнититься при аварийных отключениях этого добиться трудно.

За счет высокого удельного сопротивления магнитные вихревые потери мощности в нанокристаллических сердечниках в 4-10 раз меньше, чем в сердечниках из электротехнической стали.

Нанокристаллические сплавы сохраняют свои магнитные свойства при нормальной температуре не менее 100 лет, а при температуре $+50^{\circ}\text{C}$ не менее 50 лет, что позволяет увеличивать межповерочный интервал ТТ.

Высокие магнитные качества сердечников трансформаторов тока из нанокристаллических сплавов делают трансформаторы на их основе чувствительными по метрологическим характеристикам к повышению нагрузки (увеличению сопротивления нагрузки) во вторичной цепи трансформаторов тока сверх номинальной при максимальном первичном токе, что требует на практике жесткого выполнения всех вышеуказанных противоперегрузочных требований. Перегрузочные способности таких трансформаторов тока могут быть повышены за счет увеличения сердечников, что не всегда экономически оправдано для изготовителя, поскольку сердечники из нанокристаллических сплавов в 1,5-2 раза дороже сердечников из электротехнической стали.

Измерительные трансформаторы тока на сердечниках из нанокристаллических сплавов имеют перед трансформаторами тока на сердечниках из электротехнической стали следующие преимущества [2]:

- 1) Устойчивость метрологических характеристик к намагничиванию постоянным током.
- 2) Высокое электросопротивление материала и уменьшенные в 4-10 раз потери на вихревые токи и перемагничивание сердечника.
- 3) Повышенный (двойной) технологический запас по классу точности.
- 4) Более длительный срок службы с сохранением метрологических характеристик (и, тем самым, потенциально больший межповерочный интервал).
- 5) Меньшие затраты материала на сердечник и обмотки, меньшие габариты, вес сердечника и вес трансформатора тока в целом.
- 6) Большая устойчивость к хищениям электроэнергии (при нагрузках потребителя менее 50% номинальной) и росту коммерческих потерь.

Литература

1. Преимущества класса точности 0,5S перед 0,5 для трансформаторов тока//Панасенко В.В. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа :

- <http://www.rza.org.ua/article/read/Preimuschestva-klassa-tochnosti-0-5S-pered-0-5-dlja-transformatorov-toka.html>. - Дата доступа: 2.05.2016.
2. Основные преимущества трансформаторов тока, изготовленных с применением сердечников из аморфного нанокристаллического сплава//Производственное предприятие "Юджэн" [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа : <http://yudzhen.by/ru/izmeritelnye-transformatory-preimuschestva>- Дата доступа: 2.05.2016.

УДК 620.9, 621.313

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Ввиду того, что наша страна не обладает значительным запасом источников энергии, вопрос энергетической безопасности является одним из самых актуальных для Беларуси. Собственные топливно-энергетические ресурсы страны покрывают лишь 15% от объема общего потребления. Одним из наиболее перспективных направлений реализации целей указанных проектов является развитие белорусской ветроэнергетики. Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются потенциально возможной установленной мощностью более чем 1600 МВт·ч и годовой выработкой электроэнергии более чем 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.

Однако использование данного вида ресурсов в Республике Беларусь еще не нашло широкого применения несмотря на высокий потенциал развития. ГПО «Белэнерго» принадлежит всего одна введенная в эксплуатацию ветроустановка мощностью 1,5 МВт (рядом с д. Грабники, Новогрудский район) и готовятся к введению в эксплуатацию ещё 5 установок той же мощности в том же месте (на 26 апреля 2016 года к сети 10 кВ были подключены еще две ветроустановки, ввод в эксплуатацию оставшихся трех ожидается к концу месяца). Помимо этого, в стране установлено около 20 ветроустановок, не принадлежащих ГПО «Белэнерго», суммарная мощность которых не превышает 1000 кВт (размещены в поселке Жилихово (Копыльский район), Янковцы, Волма (Держинский район), агрогородке Занарочь, поселке Дружная (Мядельский район), Грабники (Новогрудский район), деревне Райца (Кореличский район), Жуково (Могилевский район) и др.).

Развитие ветроэнергетики во многом обусловлено стимулированием государством за счет применения повышающих коэффициентов. Согласно постановлению Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45 тарифы на электрическую энергию, производимую на территории Республики Беларусь, для ветроустановок вне зависимости от установленной мощности, введенных в эксплуатацию в период с 21 мая 2015 г. по 20 августа 2015 г. либо созданных в пределах выделенных в установленном порядке квот на создание установок после 20 августа 2015 г., установлены с применением коэффициентов:

- первые десять лет со дня ввода в эксплуатацию установок с фактическим сроком службы оборудования с даты изготовления:
 - менее пяти лет – 1,2;
 - более пяти лет – 1,05;
- последующие десять лет эксплуатации установок – 0,75;
- свыше двадцати лет эксплуатации установок – 0,45.

В нашей стране развитием альтернативных источников энергии усиленно занимается компания «Белоруснефть». За последние пять лет компанией были введены в эксплуатацию 22 тепловых насоса, 15 гелиоколлекторов, 12 фотоэлектрических станций. Одна из них, которая находится на Белорусском газоперерабатывающем заводе мощностью 3,75 МВт, является крупнейшей солнечной электростанцией в Беларуси. Это был первый проект,

реализованный по инвестиционному договору с Гомельским облисполкомом в сфере возобновляемой энергетики. Второй проект договора предусматривает строительство фотоэлектрической станции мощностью 55 МВт. Также компания «Беларуснефть» занимается и вопросами ветроэнергетики. Компанией получены необходимые согласования на строительство двух ветропарков. Строительство ветропарков будет вестись в населенных пунктах Бурмаки (Минская область) и Лужище (Гродненская область). Первый предусматривает работу 15 ветроэнергетических установок суммарной мощностью до 50 МВт, второй - 29 установок мощностью до 80 МВт.

Данные повышающие коэффициенты также не зависят от типов генераторов. 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. Так же отпускаемая в энергосистему мощность повышена ввиду отсутствия такой статьи расхода электроэнергии, как электроэнергия, потребляемая системой возбуждения.

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.

$$k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right),$$

$$k_{ск} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

$$k_{обм} = k_{ск} \cdot k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

где: ν – номер гармоники

γ_1 – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

$\gamma_2/2$ – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате скоса

ЭДС ν -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, следовательно 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.

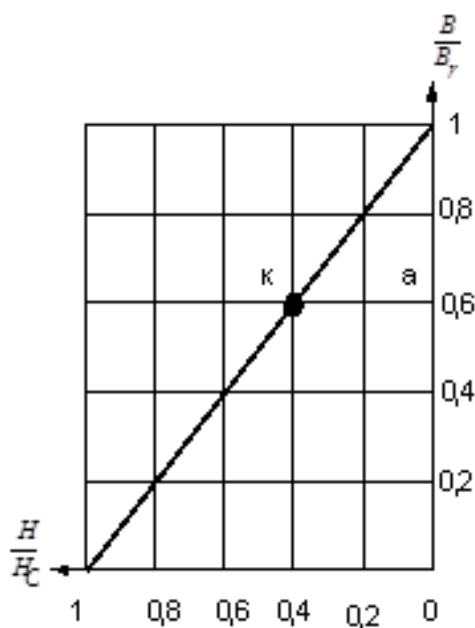


Рисунок1: Кривая размагничивания постоянного магнита

Координаты рабочей точки на кривой размагничивания постоянного магнита определяются на основании отношения ординаты к абсциссе, которое равно:

$$\frac{oa}{ak} = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\Phi_{МАГН \max} \cdot F_{МАГН}} = \frac{2\mu_0 \cdot \sigma \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\pi \cdot k_{\mu 0} \cdot B_r \cdot S_{МАГН} \cdot F_{ВН*} \cdot \delta'}$$

где ордината кривой размагничивания oa равна отношению основного магнитного потока машины к максимальному возможному потоку в нейтральном сечении магнита при отсутствии размагничивания

$$oa = \frac{\Phi_a \cdot \sigma}{\Phi_{МАГН \max}} = \frac{2 \cdot B_{\delta H} \tau \cdot l_{\delta} \cdot \sigma}{\pi \cdot B_r \cdot S_{МАГН}}$$

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:

$$ak = \frac{F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0}}{H_C \cdot h_{МАГН}}$$

где: $B_{\delta H}$ - основная гармоника индукции в воздушном зазоре при номинальных условиях, Тл,

$F_{ВН*}$ - МДС возбуждения с учетом реакции якоря (по диаграмме Потье), о.е.,

δ - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$ - площадь сечения магнита, м²,

$h_{МАГН}$ - высота магнита, м,

$k_{\mu 0}$ - коэффициент насыщения магнитной цепи машины,

σ - коэффициент рассеяния полюсов.

В рамках данной научной работы мною был произведен уточненный расчет для машины 500 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности. Параметры, по которым производится сравнение, занесены в таблицу 1. Примечание: номинальный КПД и масса генератора были рассчитаны без учета подключения через частотный преобразователь, который незначительно ухудшит данные параметры.

Табл. 1: Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, т	Температура обмотки °С
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	Синхронная с постоянными магнитами	500	18	90,6	14,5	85
Генератор АВВ, исп. в Nordtank 500 кВт	Асинхронная	500	30	85	18	–
Vestas V47	ECC5-61-4	660	28,5	89,2	20,4	–

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.
3. Постановление Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45
4. <http://www.energo.grodno.by/>

УДК 658.26

КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сорока А.В.

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

Потери в распределительных трансформаторах составляют значительную часть общих потерь в системах передачи и распределения электроэнергии. Так, например, проведенный в конце XX века анализ работы сетей передачи и распределения энергии тихоокеанского побережья США показал, что потери в распределительных трансформаторах составляют более 30%, в то время, как в трансформаторах питающих подстанций теряется только 2%. Аналогичная картина имеет место и в отечественных распределительных трансформаторах. Учитывая значительное количество распределительных трансформаторов в электроэнергетических системах и большой срок их службы, снижение потерь электроэнергии в таких трансформаторах представляет собой ощутимый резерв энергосбережения.

В странах Евросоюза большинство требований к распределительным трансформаторам определяется национальными (BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL), международными (ISO, IEC), а также европейскими (EN, HD) стандартами. Уровень энергоэффективности масляных распределительных трансформаторов определяется стандартом HD428 «Трехфазные распределительные трансформаторы с рабочей частотой 50 Гц от 50 до 2500 кВ·А с масляным охлаждением и максимальным напряжением не выше 36 кВ». В таблице 1 приведены допустимые уровни потерь мощности короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) в трансформаторах в соответствии с указанным стандартом [1].

Таблица 1-Допустимые уровни потерь по HD428

Номинальная мощность, кВ·А	Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт			Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт		
	$\Delta P_{ка}$	$\Delta P_{кб}$	$\Delta P_{кc}$	$\Delta P_{ха}$	ΔP_{xb}	ΔP_{xc}
100	1,75	2,15	1,47	0,32	0,26	0,21
160	2,35	3,10	2,00	0,46	0,37	0,30
250	3,25	4,20	2,75	0,65	0,53	0,42
400	4,60	6,00	3,85	0,93	0,75	0,61
630	6,50	8,40	5,40	1,30	1,03	0,86
1000	10,50	13,00	9,50	1,70	1,40	1,10
1600	17,00	20,00	14,00	2,60	2,20	1,70
2500	26,50	32,00	22,00	3,80	3,20	2,50

Как видно из таблицы 1, для масляных трансформаторов определенной номинальной мощности допускаются три уровня потерь КЗ ($\Delta P_{ка}$, $\Delta P_{кб}$, и $\Delta P_{кc}$) и три уровня потерь ХХ ($\Delta P_{ха}$, ΔP_{xb} , и ΔP_{xc}). Значения потерь мощности определяются по специальной методике с учетом погрешности измерений. При несоответствии изделия стандарту HD428 во время испытаний производитель либо отбраковывает трансформатор, либо согласовывает с покупателем величину денежной компенсации. И наоборот, если фактические величины потерь у крупных трансформаторов существенно лучше требований соответствующего уровня нормы (или контрактной спецификации), производитель может получить от покупателя дополнительное вознаграждение[2].

Таким образом, норматив HD428 дает возможность выбора трех уровней потерь КЗ и трех ХХ от наименее эффективной комбинации $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$, до наиболее эффективной $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хс}$.

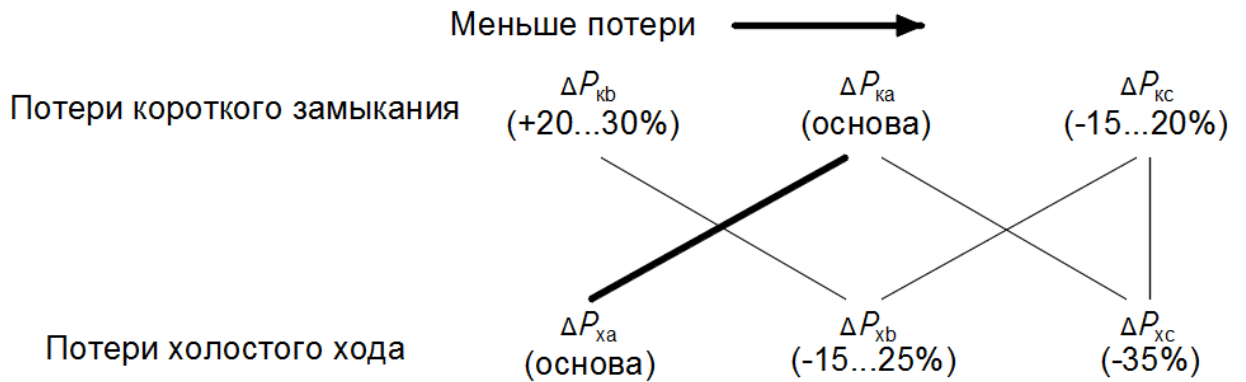


Рисунок 1- Допустимые комбинации уровней потерь

Теоретически существует девять возможных комбинаций. Однако норматив HD428 допускает пять возможных комбинаций (рисунок 1), где комбинация $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ принята за основу сравнения[1].

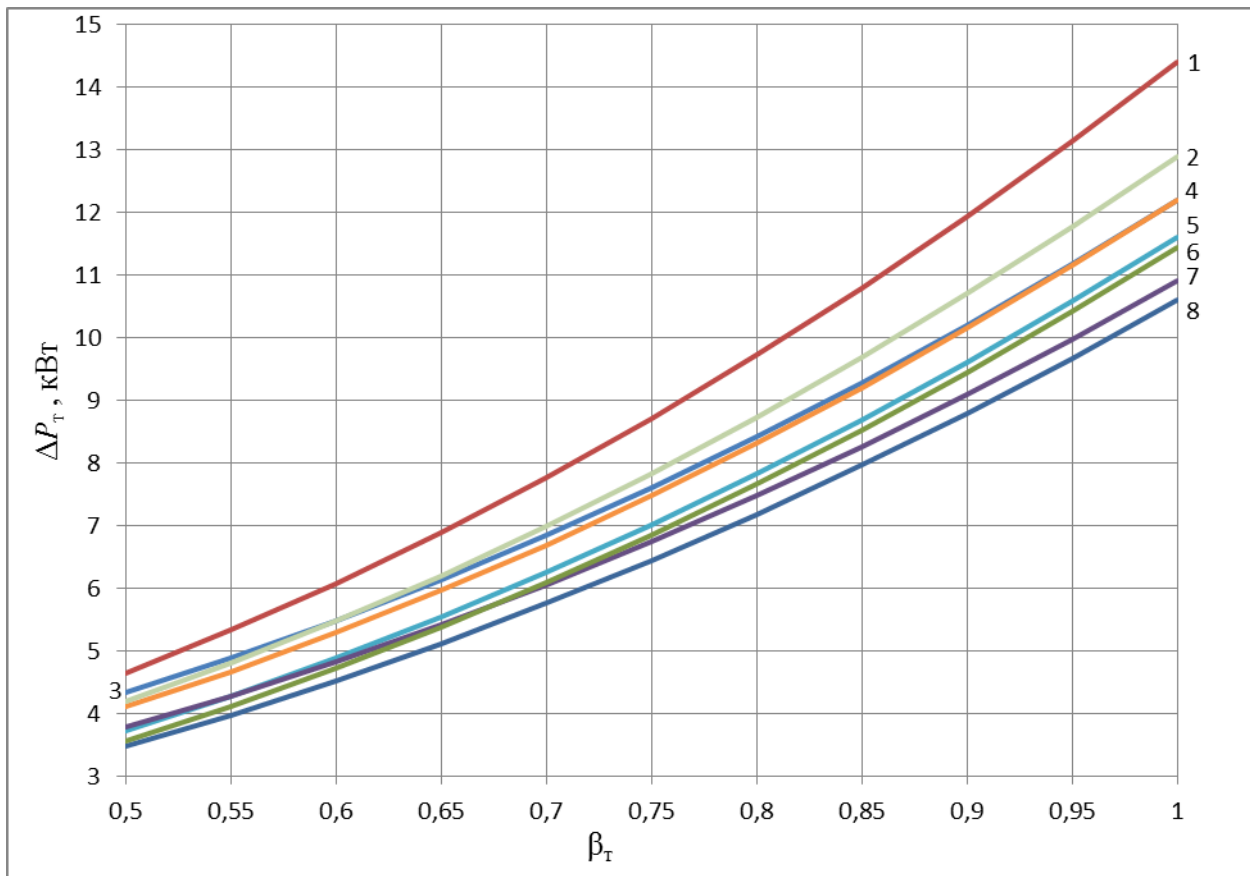


Рисунок 2- Суммарные потери трансформатора в зависимости от коэффициента загрузки:
 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{хб}$; 2-ТМГ21; 3- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$; 4- ТМГ11; 5- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{хс}$, ТМГ11; 6- ТМГ15; 7- $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хб}$;
 8- $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хс}$

У значений суммарных потерь (нагрузки и холостого хода) между крайними значениями, а именно комбинациями $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ и $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$, усматривается большая разница (около 1,5 кВт) для трансформаторов номинальной мощностью 630 кВ·А.

Фактические потери в распределительных трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \beta_T^2 \cdot \Delta P_K, \tag{1}$$

где ΔP_X - потери холостого хода, кВт;

ΔP_K - потери короткого замыкания, кВт;

β_T – коэффициент загрузки трансформатора.

На рисунке 2 приведена зависимость суммарных потерь трансформатора номинальной мощностью 1000 кВ·А от коэффициента загрузки для различных комбинаций уровней энергоэффективности.

Удельные потери в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta p_y = \Delta P_T / S_{ном}, \tag{2}$$

где $S_{ном}$ - мощность трансформатора, кВ·А.

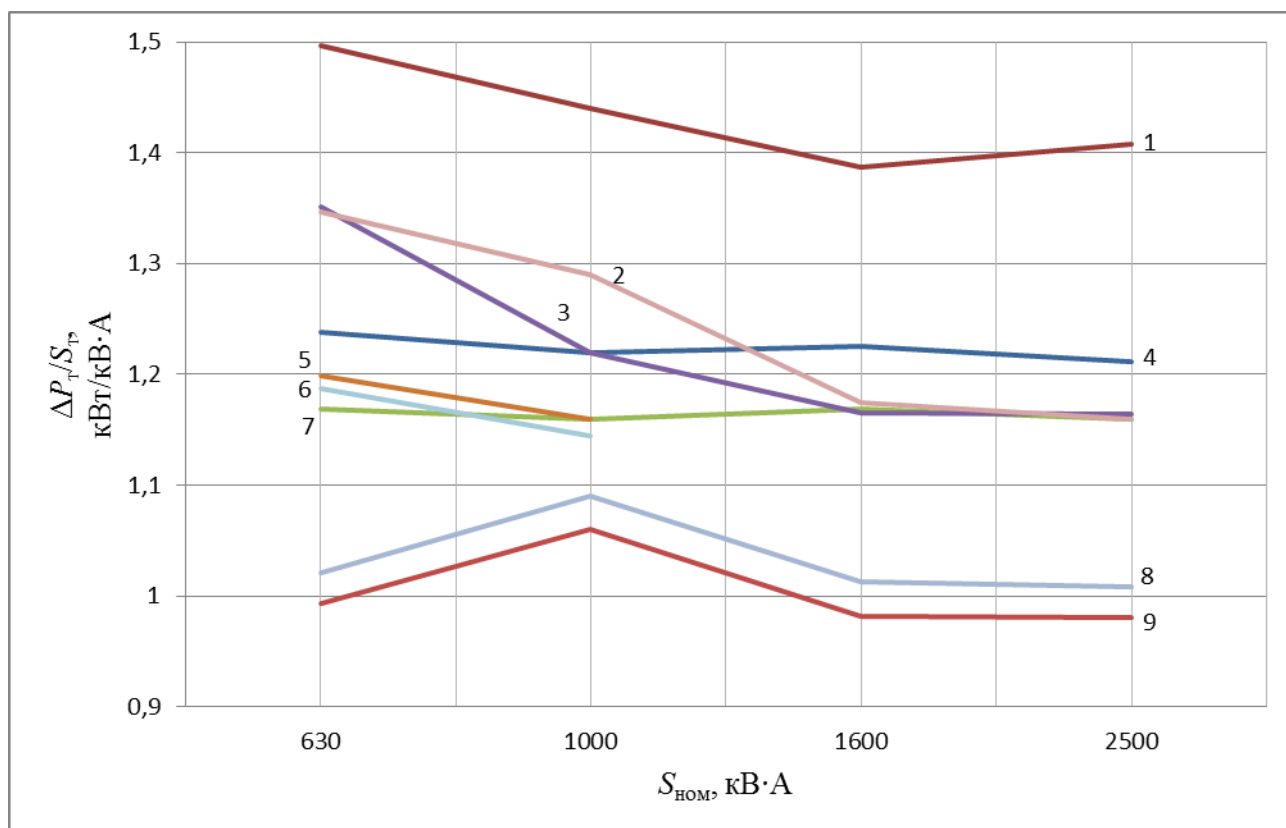


Рисунок 3- Зависимость относительных потерь в трансформаторе от номинальной мощности: 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{xb}$; 2-ТМГ21; 3-ТМГ11; 4- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$; 5-ТМГ12; 6- ТМГ15; 7- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{xc}$; 8- $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xb}$; 9- $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$

На рисунке 3 представлена зависимость удельных потерь от мощности трансформаторов по стандарту HD428 и серий ТМГ ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова”.

Формально только уровень $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$ для масляных силовых распределительных трансформаторов можно считать энергоэффективным (стандарт HD428) [2]. Трансформаторы отечественного производства, как правило, не соответствуют данному уровню потерь. Однако некоторые из них можно отнести к менее энергоэффективным уровням потерь согласно HD428. Данные трансформаторы приведены в таблице 2.

Таблица 2-Трансформаторы ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова” соответствующие стандарту HD 428.

Тип трансформатора	Потери ХХ, кВт	Потери КЗ, кВт	Уровень энергоэффективности
ТМГ11-1000/10	1,4	10,8	$\Delta P_{xb} - \Delta P_{kb}$
ТМГ12-1000/10	1,1	10,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$
ТМГ12-1000/10	0,97	10,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$
ТМГ21-2500/10	2,5	26,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$

Существуют и другие признаки для оценки энергоэффективности трансформаторов. Например, такие как применение специальных видов обмоток, усовершенствованных магнитопроводов и т. д. В США трансформатор с энергоэффективностью равной или лучшей, чем у 35 % самых продаваемых моделей, признается энергоэффективным. Такие способы оценки хоть и имеет право на существование, но не связаны напрямую с основным показателем – энергоэффективностью [2].

Литература

1. Стандарт EN 50464-1 “European standardisation for transformer losses reduction”.
2. Мельникова Е. В. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов (электронный ресурс). Режим доступа http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2384

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА ОДНОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОСНАСТКИ

Студент Богданович Л.А.

Научный руководитель - к.т.н., доцент, Козловская В.Б.

Удельный расход ЭЭ потребителя ТЭР за i -е сутки на выпуск продукции определяется как:

$$W_{уд_i} = \frac{W_{\phi_i}}{P_i} = \frac{W_{техн} \cdot P_i + W_{общ}}{P_i} = W_{техн} + \frac{W_{общ}}{P_i}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед.прод.},$$

где $W_{техн}$ – технологическая составляющая удельного расхода ЭЭ на выпуск продукции, кВт·ч/ед.прод.; $W_{общ}$ – условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ на выпуск продукции, не зависящая от объемов производства продукции, кВт·ч/сут;

P_i – суточный объем выпуска продукции, ед.прод/сут.

Именно наличие условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, не зависящей от объема выпуска продукции, обуславливает вариацию производственного удельного расхода ЭЭ от 8,4 кВтч/н.ч. до 20,2 кВтч/н.ч. при изменении объема выпуска продукции от 5000 до 50000 усл. ед..

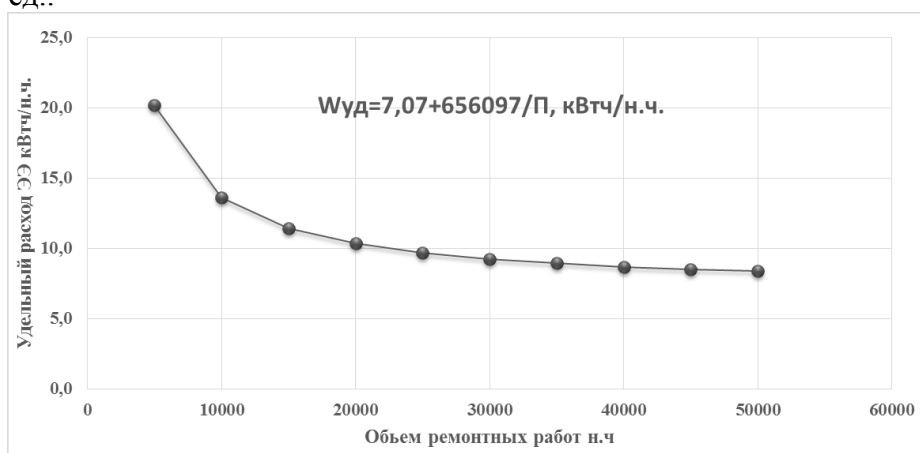


Рисунок 1. Однофакторная модель удельного расхода ЭЭ ЦБПО от выпуска продукции

Однофакторная статистическая модель удельного расхода ЭЭ (УРЭ) может быть построена с использованием суточной статистики по режимам потребления ЭЭ и фактическим объемам выпуска продукции (загрузка производства).

В зависимости от значений УРЭ выделяется три области загрузки технологического оборудования: зона высокой, низкой и средней эффективности загрузки оборудования (рис. 2). Зона низкой эффективности характеризуется значительными изменениями УРЭ при незначительных изменениях объема производства продукции. Зона средней эффективности соответствует средним загрузкам технологического оборудования. Зона высокой эффективности характеризуется незначительными изменениями УРЭ при значительных изменениях объемов производства продукции.

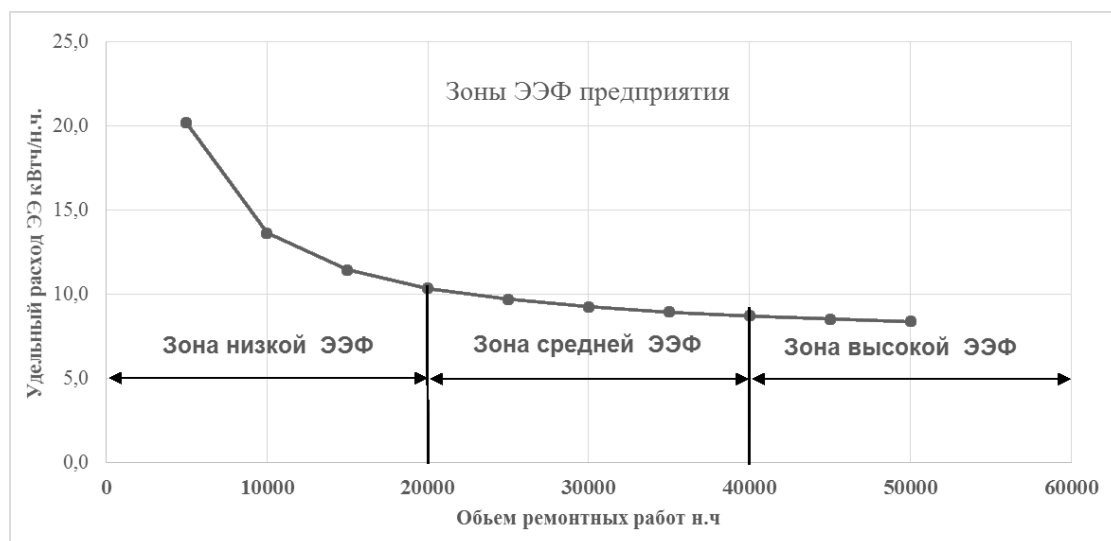


Рисунок 2 Зоны энергетической эффективности ЦБПО

Для рассматриваемого ремонтного цеха разработана однофакторная модель УРЭ от объема выпуска продукции за календарный месяц следующего вида:

$$W_{уд.,ЭЭ} = w_{уд.,техн} + W_{пост}/П = 7,07 + 65610/П, \text{ кВтч/усл.ед.},$$

где $W_{уд.,техн}$ - технологический удельный расход ЭЭ, $w_{уд.,техн} = 7,07$ кВтч/н.ч.,

$W_{пост}$ – условно– постоянная составляющая расхода ЭЭ за месяц, $W_{пост} = 65610$, кВтч;

$П$ – объем выпуска продукции за календарный месяц, н.ч.

При внедрении мероприятий по энергосбережению технологическая и условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ будут изменяться. Соответственно им будут изменяться и значения УРЭ при соответствующей загрузке технологического оборудования. Параметры модели зависимости УРЭ от выпуска продукции тоже будут изменяться. При этом эффективность одного и того же мероприятия по энергосбережению при разной загрузке производства будет различна.

Пример 1. Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на условно-постоянную расхода ЭЭ

Оценим эффективность внедрения мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ в размере 5610 кВтч. Модель общепроизводственного УРЭ будет скорректирована по условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ и примет вид:

$$W_{уд} = 7,07 + (65610 - 5610)/П = 7,07 + 60000/П, \text{ кВтч/усл.ед.}$$

Расчет значений удельного расхода ЭЭ при исходных данных структуры расхода ЭЭ и вариации месячного объема выпуска продукции от 5000 до 50000 усл.ед и после внедрения мероприятий, воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемам выпуска продукции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения общезаводских удельных расходов ЭЭ до внедрения и после внедрения мероприятий

Объем выпуска продукции, П, усл. ед	Значение общепроизводственного УРЭ Wуд.1, по исходной модели, кВтч/усл.ед	Значение общепроизводственного УРЭ Wуд.2, по скорректированной модели, кВтч/усл.ед	Изменение ЭЭФ $\Delta ЭЭФ = (Wуд2 - Wуд1) / Wуд1 \cdot 100\%$, %
5000	95350	100960	5,6
10000	130700	136310	4,1
15000	166050	171660	3,3
20000	201400	207010	2,7
25000	236750	242360	2,3
30000	272100	277710	2,0
35000	307450	313060	1,8
40000	342800	348410	1,6
45000	378150	383760	1,5
50000	413500	419110	1,3

Как видно из расчетов (табл.1), внедрение мероприятий, обеспечивающих снижение условно – постоянной расхода ЭЭ на 5610 кВтч/мес (8% от ее исходного значения) могут обеспечить снижение УРЭ от 5,6% до 1,3% в зависимости от производственной программы производства. Эффект от мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной расхода ЭЭ усиливается в области низкой загрузки оборудования, и снижается в области высокой загрузки оборудования, где в меньшей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Пример 2. Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на технологическую составляющую расхода ЭЭ

Оценим, как изменяется эффективность от внедрения мероприятий, направленных на снижение технологического удельного расхода ЭЭ на 10% в условиях изменении объемов выпуска продукции шинного производства в диапазоне от 5000 до 50000 н.ч..

Модель общепроизводственного удельного расхода ЭЭ будет скорректирована по технологическому УРЭ и примет вид:

$$Wуд.ЭЭ = (7,07 - 0,707) + 65610/П = 6,363 + 65610/П, \text{ кВтч/н.ч.}$$

Расчет производственных значений УРЭ при изменении объемов выпуска продукции от 5000 до 50000 н.ч. в месяц до внедрения мероприятий по энергосбережению и после внедрения мероприятий, воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемах выпуска продукции, представлены в таблице 2.

Это означает, что эффект от одних и тех же мероприятий, направленных на снижение технологической составляющей расхода ЭЭ усиливается в области высокой загрузки оборудования, и снижается в области низкой загрузки оборудования, где в большей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Таблица 2 - Значения УРЭ до внедрения и после внедрения мероприятий воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ

Объем выпуска продукции, П, н.ч.	Значение общепроизводственного УРЭ Wуд.1, по исходной модели, кВтч/ н.ч.	Значение общепроизводственного УРЭ Wуд.3, по скорректированной модели, кВтч/усл.ед	Изменение ЭЭФ $\Delta ЭЭФ = (Wуд3 - Wуд1) / Wуд1 \cdot 100\%$, %
5000	100960	97425	3,5
10000	136310	129240	5,2
15000	171660	161055	6,2
20000	207010	192870	6,8
25000	242360	224685	7,3
30000	277710	256500	7,6
35000	313060	288315	7,9
40000	348410	320130	8,1
45000	383760	351945	8,3
50000	419110	383760	8,4

Выводы:

1. Одно и то же мероприятие по энергосбережению в зависимости от загрузки производства ПП дает различный эффект, оцениваемый по снижению УРЭ при одних и тех же объемах выпуска продукции.

2. Установлено, что энергосберегающие мероприятия, направленные на снижение условно-постоянной расхода ЭЭ дают максимальный эффект в условиях низких объемов выпуска продукции. Энергосберегающие мероприятия, снижающие технологическую составляющую расхода ЭЭ обеспечивают максимальный эффект в условиях максимальной производительности производства.

3. При работе производства в условиях высокой загрузки влияние условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ на величину удельного расхода снижается, а значит и снижается эффективность мероприятий, снижающих условно-постоянную составляющую расхода ЭЭ.

Литература:

1. Анищенко, В. А. Оценка и нормирование показателей энергоэффективности предприятий трубопроводного транспорта нефти / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 233 с.

2. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» // Энергоэффективность. №7.1998.-С.2-5.

3. Токочакова, Н. В. Методология оценки энергоэффективности транспорта нефти на основе моделирования электропотребления: автореф диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Белорусский национальный технический университет, Учреждение Образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» Минск-Гомель ,2007 - 44 С.

УДК 621.314

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гороховик И. В

Научный руководитель – д.т.н. Анищенко В.А.

При проектировании и в условиях эксплуатации предусматривают экономически целесообразный режим работы трансформаторов, сущность которого состоит в следующем. При наличии на подстанции нескольких трансформаторов, могущих работать на общие шины, число включенных трансформаторов определяется условием минимума потерь мощности в этих трансформаторах при работе их по заданному графику нагрузки. При этом учитывают не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери активной мощности, возникающие в системе электроснабжения по всей цепочки питания от генераторов электростанций до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности. Эти потери называют приведенными в отличие от потерь в самих трансформаторах, определяемых по выражению:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_K, \quad (1)$$

где $\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{н.п.} \cdot \Delta Q_x$ - приведенные потери XX трансформатора, учитывающие потери активной мощности как в самом трансформаторе, так и создаваемые им в элементах всей системы электроснабжения зависимости от реактивной мощности, потребляемой трансформатором; $\Delta P'_K = \Delta P_K + K_{н.п.} \cdot \Delta Q_K$ - приведенные потери КЗ.

Кривые приведенных потерь мощности трансформаторов в зависимости от изменения нагрузки $S_{нг}$ показаны на рис. 1.

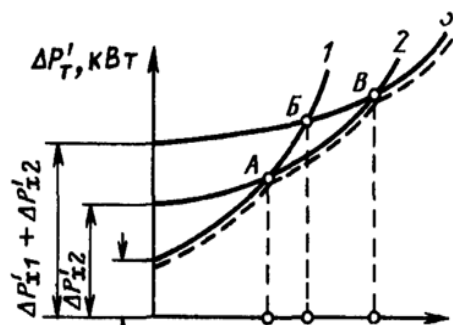


Рис. 3. Зависимость приведенных потерь активной мощности $\Delta P'_T$ в силовых трансформаторах от изменения нагрузки $S_{нг}$: 1 и 2 - кривые потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при раздельной работе; 3 - кривая суммарных потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при параллельной работе; $\Delta P'_{x1}, \Delta P'_{x2}$ приведенные потери XX в трансформаторах 1 и 2

Выражение (1) можно представить в иной форме:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Для упрощения дальнейшей записи обозначим:

$$\Delta P'_x = a \text{ и } \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} = b,$$

тогда $\Delta P'_T = a + b \cdot S_{нг}^2$.

Это уравнение параболы, и поэтому на рис.1 точки пересечения А, Б и В, соответствующие нагрузкам S_1, S_2, S_3 лежащие каждая одновременно на двух параболах (например, точка А) имеют координаты, удовлетворяющие совместно решению уравнений $\Delta P'_{T1} = a_1 + b_1 \cdot S_{нг}^2$ и $\Delta P'_{T2} = a_2 + b_2 \cdot S_{нг}^2$. В общем случае это может быть любая пара подобных кривых, причем каждая соответствует определенному количеству параллельно включенных трансформаторов.

Для точки А справедливо равенство $\Delta P'_{T1A} = \Delta P'_{T2A}$, т.е.

$$a_1 + b_1 \cdot S_{нг.А}^2 = a_2 + b_2 \cdot S_{нг.А}^2, \text{ откуда}$$

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}}$$

или, что равносильно,

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}} \quad (2)$$

Из (2) для трансформаторов одинаковой мощности получаем

$$S_{нг.А} = S_{номт} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}$$

Точку А и соответствующую ей нагрузку $S_{нг.А}$ определяют графическим и аналитическим способами аналитический способами. Аналитический способ является более удобным, так как обычно в расчетах интересуются только точками А, Б и В и соответствующими им нагрузками S_1, S_2, S_3 .

Выражением (2) пользуются для установления экономически целесообразного режим работы двух параллельно работающих трансформаторов, а также для решения вопроса об экономической целесообразности присоединения к группе трансформаторов дополнительно ещё одного трансформатора[1].

На двухтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности

Условно примем, что номинальная мощность первого трансформатора Т1 меньше мощности второго Т2.

На рис.2 показаны зависимости потерь активной мощности трансформаторе меньшей номинальной мощности ΔP_{T1} , большей номинальной мощности ΔP_{T2} и суммарные потери в двух трансформаторах ΔP_{Σ} от нагрузки потребителей $S_{нг}$. Точка пересечения графиков $S_{гр1}$ соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т1 равны потери мощности в Т2. Точка пересечения графиков $S_{гр2}$ соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т2 равны суммарная потерям мощности в Т1 и Т2. Следовательно, значение ограниченной мощности $S_{гр1}$

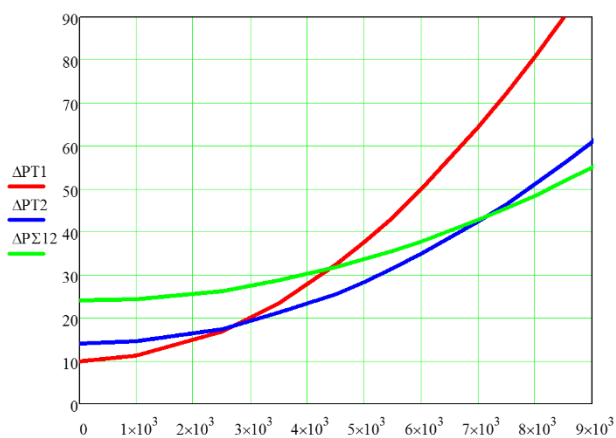


Рис. 4 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

определяют наиболее выгодного с точки зрения потерь мощности перехода от режима работы трансформатором меньшей мощности к трансформатору большей мощности, и наоборот. Значение граничной мощности $S_{гр2}$ определяет точку наиболее выгодного перехода от режима работы трансформатором большей мощности к работе двумя параллельными трансформаторами, и наоборот.

Значение граничной мощности $S_{гр3}$ не имеет качественной оценки для определения экономических режимов работы двухтрансформаторной подстанции, значение мощности находится выше кривой минимальных потерь мощности. Мощность $S_{гр3}$ определяет точку наиболее выгодного перехода от режим работы двумя трансформаторами к работе одним трансформатором меньшей мощности, и наоборот.

Потери мощности в трансформаторе меньшей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{T1} = \Delta P'_{x1} + \frac{\Delta P'_{k1}}{S_{номт1}^2} \cdot S_{нг1}^2$$

Потери мощности в трансформаторе большей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{T2} = \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{k2}}{S_{номт2}^2} \cdot S_{нг2}^2$$

При параллельной работе трансформаторов минимум потерь мощности соответствует распределению нагрузки пропорционально установленной мощности трансформаторов:

$$\frac{S_{нг1}}{S_{номт1}} = \frac{S_{нг2}}{S_{номт2}}$$

где $S_{нг1}$ и $S_{нг2}$ - мощность нагрузки первого и второго трансформаторов соответственно.

Суммарная мощность потерь при работе двух трансформаторов:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P'_{x1} + \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{к1}}{S_{номт1}^2} \cdot S_{нг}^2 + \frac{\Delta P'_{к2}}{S_{номт2}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} - \Delta P'_{к1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт2}^4 \cdot \Delta P'_{к1}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

$$S_{гр.3} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

Экономичный режим работы двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 12}$ на графике (рис.2).

На трехтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} - \Delta P'_{к1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2 \rightarrow 3} = \sqrt{\frac{S_{номт2}^2 \cdot S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{к3} - \Delta P'_{к2})}{S_{номт3}^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к3}}}$$

$$S_{гр.3 \rightarrow [2+3]} = \left(1 + \frac{S_{номт2}}{S_{номт3}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт3}^4 \cdot \Delta P'_{к2}}{(S_{номт2} + S_{номт3})^2 \cdot \Delta P'_{к3} - S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}}$$

$$S_{гр.[2+3] \rightarrow [1+2+3]} = \sqrt{\frac{(\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3}) - (\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}{(\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})} \cdot \frac{(\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}{(S_{номт2} + S_{номт3})^2 - (S_{номт1} + S_{номт2} + S_{номт3})^2}}$$

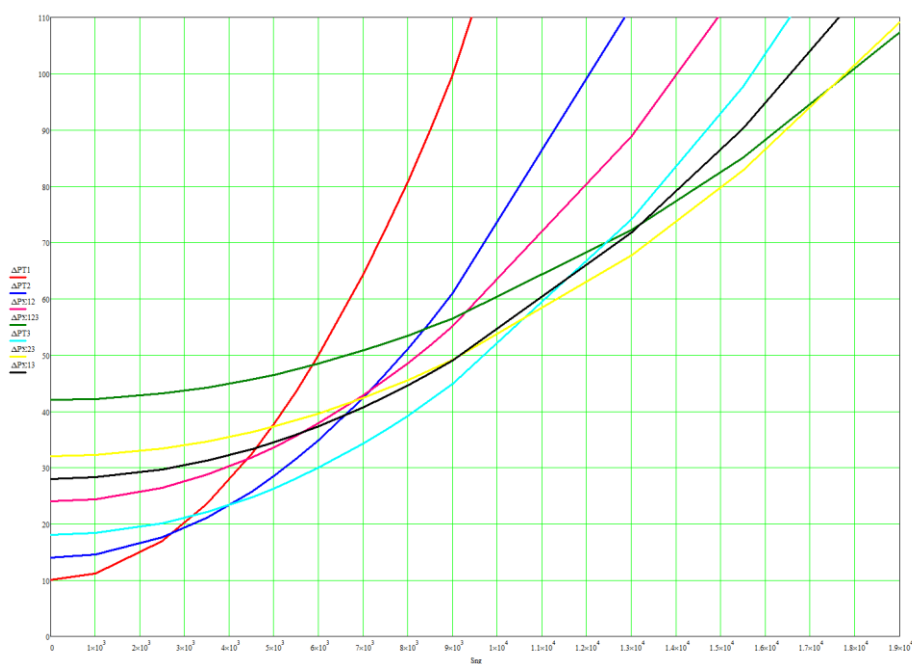


Рис. 3 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

Экономичный режим работы трехтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow S_{нг.3} \rightarrow S_{нг.23} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 123}$ на графике (рис.3).

Литература:

- 1.Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: /Под общ. ред. А.А. Федорова.
- Т.2. Электрооборудование– Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с., [37-38] ил.

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Журавлёв Е.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Рассмотрим стационарную теплоэнергетическую установки с фосфорно-кислотными топливными элементами РС-400. Она предназначена для систем распределенной генерации электроэнергии, а также для систем с комбинированным производством электроэнергии и тепла. Она способна производить 400 кВт постоянной, надежной электроэнергии при образовании теплоты, которую можно в дальнейшем применять для обогрева помещений, в устройствах нагрева воды, а также для запуска абсорбционной холодильной установки. Кроме этого, установка подает резервное питание, когда энергосистемы общего пользования выходят из строя.

Сначала в системе обработки топлива биогаз превращается в водород в результате процесса, известного как преобразование при помощи каталитического пара. Затем водород и воздух поступают в 4 батареи фосфорно-кислотных топливных элементов, в которых водород и кислород соединяются электрохимическим путем для образования электро-, водо- и теплоснабжения с постоянным током. Конечный этап: электроэнергия с использованием переменного тока производится посредством встроенного преобразователя постоянного тока в переменный. Тепло, вырабатываемое в топливном элементе, производит пар, который подается обратно в систему обработки топлива для дальнейшего использования в процессе преобразования пара. Используемое тепло поставляется в предоставленный потребителем источник воды через встроенные радиаторы рекуперации тепла.

Таблица 1 - Производительность теплоэнергетической установки

Технические характеристики	Производительность
Полезная выходная электрическая мощность	400кВт/471 кВА, 480 В, 50 Гц, 3 фазы
Электрический КПД	42% - начальный уровень 40% - номинальный уровень
Выходная мощность по теплу	0,39 Гкал/ч - начальный уровень 0,43 Гкал/ч - номинальный уровень
Комплексный КПД системы, низкая теплотворная способность	До 90%
Расход биогаза (при теплоте сгорания 38 МДж/м ³)	1,70 м ³ /мин - начальный уровень 1,75 м ³ /мин - номинальный уровень
Удельный расход биогаза	0,26 м ³ /кВт-ч
Расход воды: - при температуре окружающей среды ≤+30 °С - при температуре окружающей среды +43,3 °С	- не потребляет - 3,8 л/мин (при давлении 276 кПа)
Выход воды	Отсутствует

Модель собирается на заводе–изготовителе, а теплоэнергетическая установка с протестированным топливным элементом состоит из двух главных компонентов: блок питания и модуль охлаждения. Блок питания состоит из пяти подсистем, собираемых и тестируемых, как комплектная система на заводе-изготовителе. Блок питания поставляется на место производства полностью укомплектованным вместе с необходимым оборудованием, проводкой и трубопроводами. Обычно требуется поставляемый заводом-изготовителем модуль охлаждения, который может быть установлен в непосредственной близости от блока питания. На рисунке 1 изображены все подсистемы блока питания.

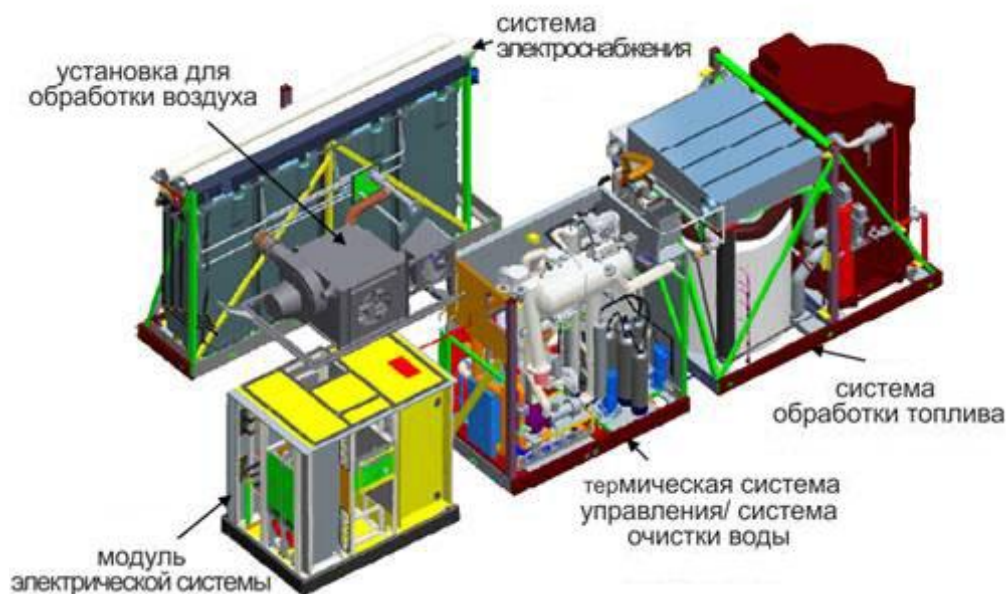


Рис.1. Пять подсистем модели

Модуль системы электроснабжения содержит 4 батареи топливных элементов, которые составляют основу модели. Каждая батарея топливных элементов, или модуль батарей элементов, содержащая 376 отдельных элементов, может вырабатывать более 100 кВт электроэнергии. Батареи топливных элементов соединяются последовательно, как показано на рисунке 1-5. Вместе они вырабатывают постоянный ток высокого напряжения.

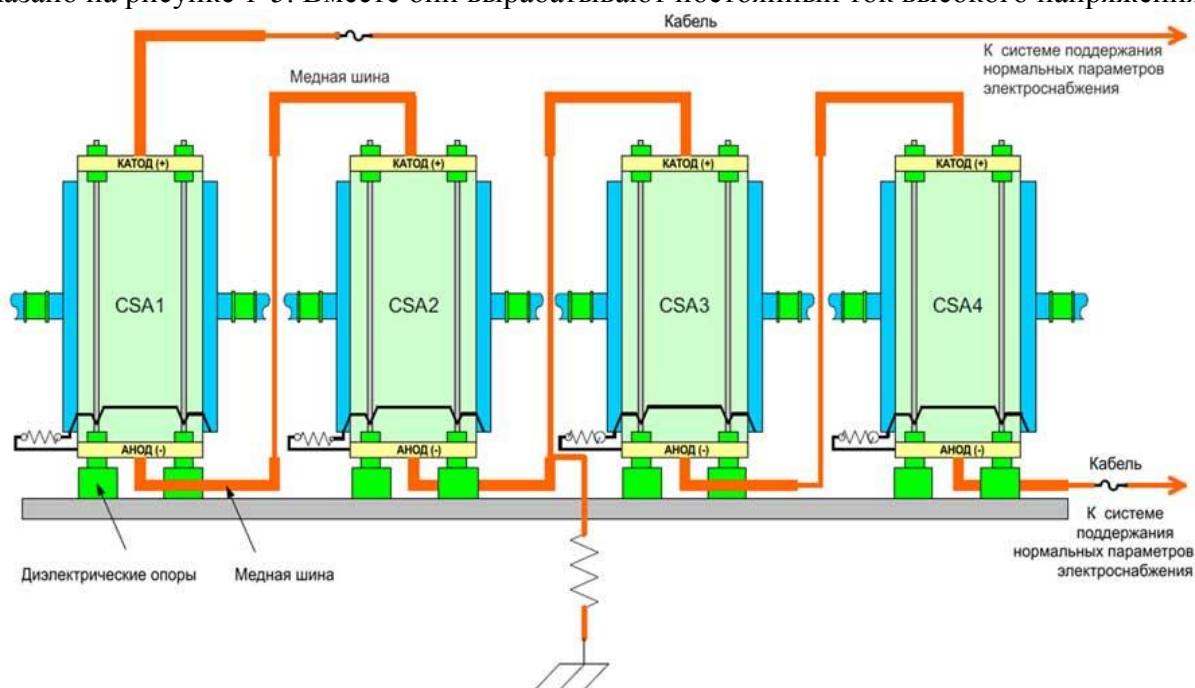


Рис.2. Конфигурация четырех батарей топливных элементов

Продукт преобразования водорода и поток воздуха подходит к каждой из батарей топливных элементов одновременно и так, чтобы уровень выходной мощности был одинаковым на всех четырех батареях. Вода, выделяемая при реакции топливных механизмов, покидает батареи вместе с отработавшими газами. Вырабатываемое во время реакции тепло удаляется потоком воды через изолированные охлаждающие элементы, встроенные на всем периметре модуля батарей.

Запуск модели происходит посредством использования энергосети потребителя. Требуемая мощность при запуске составляет в среднем 70 кВт на протяжении 5 часов. Максимальное значение требуемой мощности составляет 158 кВт. При начальном запуске

происходит подогрев интегральной низкотемпературной системы и модуля батарей элементов до рабочей температуры. Используются электрические нагревательные элементы. После запуска энергетическая установка будет поставлять энергию напрямую к охлаждающим модулям и системам связи (внутренние нагрузки будут поддерживать чистую заданную выходную мощность для потребителя в 400 кВт).

Таблица 2 - Электрические характеристики

Электрические характеристики при подключении к сети	
Номинальная мощность энергетической установки	
Номинальная мощность (чистая)	400кВт/ 471 кВА
Стандартные конфигурации напряжения и частоты	480В, 3 фазы, 3 провода, 50 Гц
Электрические характеристики	
Диапазон рабочих режимов	0-100% - установлено заводом изготовителем
Диапазон коэффициента мощности (при номинальном линейном напряжении)	От 0,85 до 1,0 отставание/ опережение (регулируется), 0,85 - опережение до $\pm 5\%$ линейного напряжения. 0,9% отставания при 5% линейного напряжения.
Стабильность подачи и точность энергии	Полезная мощность регулируется при $\pm 1\%$ от нормы. Реактивная мощность при $\pm 2\%$ от нормы. Данные значения достигаются в течение 100 миллисекунд после изменения состояния энергосети.
Ток короткого замыкания	110% от установленного среднеквадратичного тока, определяется за 1 цикл
Нулевой экспорт электроэнергии	Энергетическая установка может опционально «следовать за нагрузкой» (контролировать экспорт полезной мощности) через выходной сигнал внешней системы контроля экспорта/импорта (кВт)
Разбаланс линейного напряжения	2%, между фазами, кВА, установлено на заводе-производителе. 5%, кВА, отклонение от нормы до 85%. Отклонение линейно по отношению к норме. При разбалансе прерывание меньше 5%.
Гармонический ток	Гармонический ток должен соответствовать стандарту UL1741 при номинальной мощности (эксплуатация при стандартном сопротивлении, 4% индуктивная нагрузка шунтируется 56% резистивной нагрузкой). Для источника генератора, соединенного с электрической сетью, необходимо, чтобы гармоническое напряжение соответствовало стандартам IEEE 519.
Выход	Фиксированная нагрузка между 0% и 100% Приведите в соответствие изменения от минимальной нагрузки до максимальной за менее, чем 40 секунд при макс. 10 кВт/сек

Габариты установки.

Вид спереди: общая ширина – 6080 мм, высота до входного воздушного фильтра – 4590 мм, высота выпускной трубы (требуется для установок без рекуперации тепла) – 4408 мм.

Вид сбоку: общая длина – 8512 мм, высота электрической части установки – 3587 мм, высота до выпускного отверстия – 4408 мм

Таблица 3 – Данные по выбросам газов

	Грамм	Число частей на миллион по объему 15,4% O₂
NO _x	9,06	0,50
CO	9,06	0,67
VOC	9,06	1,36
CO ₂	498300	

Уровень шума энергетической установки с топливными элементами составляет менее 65 дБА на 10 метров в любой области установки. Это соответствует уровню шума при нормальном разговоре. При работе устройства рекуперации тепла на полной мощности охлаждающий модуль выключается, и уровень шума падает до 60 дБА на 10 метров.

Литература

1. http://www.intech-gmbh.ru/energy_unit_400kW.php
2. <http://www.ence.ch/rus/>

УДК 621.06

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Беляцкий Р. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Асинхронные машины используют главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Простота устройства и высокая надежность позволяют применять их в различных отраслях техники для привода станков, грузоподъемных и землеройных машин, компрессоров, вентиляторов и пр. В системах автоматического регулирования широко используют одно- и двухфазные управляемые асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины.

Электрические машины, в том числе и асинхронные двигатели, принято разделять по мощности на три группы: большой, средней и малой мощности. В общем случае представители разных групп, кроме мощности, отличаются также конструктивными, функциональными, эксплуатационными и прочими особенностями. Деление на три группы является условным и не имеет четких границ. К машинам малой мощности относятся микромашины мощностью от долей ватта до 2кВт и машины до 10 кВт. Асинхронные машины малой мощности работают на переменном токе нормальной или повышенной частоты.

Электрические машины малой мощности представляют собой достаточно широкий класс технических объектов, применяемых в различных областях техники и народного хозяйства, работают при различных условиях эксплуатации и внешних воздействиях. Электрические машины малой мощности относятся к весьма сложным объектам. Каждая из них характеризуется сотнями величин, параметров или характеристик, отражающих энергетические, электрические, магнитные, механические, акустические и прочие свойства. Машины малой мощности отличаются от машин средней и большой мощности не только массовостью производства и применения но, главным образом, существенно большим многообразием выполняемых функций и конструктивных исполнений, особенностями применения и эксплуатации.

Электрические машины малой мощности имеют, как правило, закрытое конструктивное исполнение, рассчитанное на работу в любом положении в пространстве, длительные сроки сохраняемости. Системы параметров и характеристик большинства видов таких машин обладают существенными особенностями по сравнению с системами параметров машин средней и большой мощности, что обусловлено в основном спецификой назначения и функционирования машин малой мощности.

Вращающиеся электрические машины малой мощности обычно выполняют с самовентиляцией. В этом случае охлаждение нагретых частей осуществляется вентилятором, который насаживают на вал ротора. В некоторых машинах вентиляторами являются вентиляционные лопасти или другие приспособления, пристраиваемые к торцовой части сердечника ротора. В зависимости от вида питающего напряжения и обмотки статора различают трехфазные и однофазные асинхронные двигатели.

Управляемые двухфазные асинхронные двигатели малой мощности широко применяются в точных приборных и следящих системах, в счетно-решающих устройствах. Они используются и в качестве исполнительных двигателей (ИД) автоматических устройств промышленного назначения малой мощности. Назначение ИД — преобразование электрического сигнала (чаще всего напряжения управления) в механическое перемещение вала. Асинхронные исполнительные двигатели выполняются мощностью от сотых долей ватта до нескольких сотен ватт как для стандартной (50 Гц), так и для повышенных (200, 400, 500 и 1000 Гц) частот при синхронной скорости вращения от 1500 до 30 000 об/мин. Ротор асинхронного ИД может иметь следующие конструктивные модификации: полый

немагнитный, обычный с обмоткой типа «беличья клетка»; полый или сплошной ферромагнитный с немагнитным покрытием или без него.

В настоящее время электрические машины общего назначения выпускаются в виде серий, охватывающих определенный диапазон мощностей, частот вращения и напряжений. Машины серий обладают общностью конструктивных решений и технологии их изготовления, а также однотипностью применяемых материалов. В пределах серии стремятся к возможно более широкой унификации узлов и деталей машин. При серийном производстве близкие по мощности машины выполняются на одном диаметре якоря и отличаются лишь активной длиной. В современных сериях размером, определяющим габарит машины, является высота оси вращения, т. е. расстояние от оси вращения вала до опорной плоскости двигателя. С этим размером жестко связаны установочные и присоединительные размеры машины. В настоящее время основной серией асинхронных двигателей, выпускаемой промышленностью, является серия АИ. Двигатели малой мощности этой серии изготавливаются на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000 и 750 об/мин. По своим показателям она превосходит серию 4А: имеет меньшие массогабаритные показатели (на 10 – 15%) и лучшие характеристики. Коэффициент полезного действия и $\cos\phi$ у машин этой серии 1 – 1,5 % выше, чем у машин серии 4А. При изготовлении машин этой серии применяется механизированная укладка обмоток, что позволяет уменьшить длину лобовых частей на 20% и сократить расход обмоточного провода на 10%. Для обеспечения высокой надежности обмотки все двигатели имеют изоляцию класса нагревостойкости F при расчетном нагреве обмоток, соответствующем классу В.

Асинхронные двигатели малой мощности 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) малая шумность двигателя; 4) простота и надежность в эксплуатации.

В настоящее время выпускается достаточно большое количество серий асинхронных машин малой мощности для различных механизмов для эксплуатации в различных условиях, с разной степенью защиты и предназначенных для различных номинальных режимов работы. Наиболее востребованными являются асинхронные электродвигатели малой мощности серии:

АИМ-М - трехфазные взрывозащищенные с короткозамкнутым ротором предназначены для эксплуатации во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Напряжение питающей сети 220 - 660 В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Степень защиты: IP54;

АИМА-М - трехфазные взрывозащищенные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода запорной арматуры во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: S3 с ПВ - 25%. Степень защиты: IP54;

АИУ - трехфазные асинхронные взрывозащищенные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для эксплуатации в подземных выработках угольных и сланцевых шахт, а также помещениях и наружных установках, опасных по метану и угольной пыли. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6. Исполнение по взрывозащите: ПВ - 3В. Степень защиты: IP54.

АЗО - трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного применения. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах : S2, S3, S4 и S6. Степень защиты: корпуса и коробки выводов - IP54; кожуха вентиляторов - IP20;

АЗОС - трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного применения.

Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6. Степень защиты: корпуса и коробки выводов - IP54; кожухов вентиляторов - IP20;

2ДАВ71-4 - Электродвигатели асинхронные однофазные конденсаторные встраиваемые предназначены для привода активатора бытовых стиральных машин. Номинальный режим работы: S3 - 60%;

АЗОК - Электродвигатели асинхронные однофазные конденсаторные предназначены для привода различных устройств и механизмов машин. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6;

ДАК - Двигатели являются комплектующими для изделий бытового и промышленного назначения (электросоковыжималки, стиральные машины, электроинструмент и т. п.). Двигатели изготавливаются по ТУ 16-05755950-083-93, Номинальный режим работы продолжительный (S1) или повторно-кратковременный (S3) по ГОСТ 183. Класс нагревостойкости изоляции двигателей В по ГОСТ 8865. Степень защиты двигателей IP 10 по ГОСТ 17494.

Литература

1. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.
2. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. - М.: Высшая школа, 1961. - 503 с.
3. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г.
4. Дмитриев В.Н. Проектирование и исследование асинхронных двигателей малой мощности: Учебное пособие: / В. Н. Дмитриев. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 92с.
5. Асинхронные машины малой мощности [Электронный ресурс]. – 2012– Режим доступа http://nktechnology-group.ru/asinhronnye_elektrodivig 10.05.2016.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Угаров М.С.

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

Традиционно в энергетике для прокладки в силовых сетях на низкое, среднее и высокое напряжение использовали кабели с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ). Силовые кабели с БПИ имеют высокие и стабильные электрические характеристики, но имеют ряд существенных недостатков. Это – сложный и малопроизводительный процесс их изготовления, ограничения при вертикальных прокладках из-за стекания пропиточного состава. Металлическая оболочка (обязательный элемент конструкции, так как пропитанная бумага не влагостойка) значительно удорожает и утяжеляет конструкцию.

Эти недостатки устраняются при использовании для кабелей изоляции из современных материалов, подвергаемых вулканизации (поперечной сшивке). Наиболее широко используемым материалом является полиэтилен. Создание трехмерной структуры путем образования поперечных связей между макромолекулами полиэтилена позволяет значительно улучшить свойства этого материала, соответственно, улучшаются и характеристики кабеля, выполненного с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).

Промышленно развитые страны начали использовать СПЭ в качестве изоляционного материала ещё в 70-х годах прошлого века, и в настоящее время многие страны уже не производят и не используют кабели с бумажно-пропитанной изоляцией.

Основные преимущества кабелей с изоляцией из СПЭ:

- 1) низкая повреждаемость (по зарубежным данным, процент электрических пробоев на два-три порядка ниже, чем у кабелей с бумажной изоляцией);
- 2) низкие диэлектрические потери (коэффициент диэлектрических потерь 0,001 вместо 0,008 у кабелей с БПИ и 0,01 у кабелей с поливинилхлоридной изоляцией);
- 3) большая пропускная способность за счёт увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительной - 90°C, при перегрузке - 130°C;
- 4) большой ток термической стойкости при коротком замыкании;
- 5) возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- 6) экологичный монтаж и эксплуатация (отсутствие свинца, масла, битума);
- 7) разработаны специальные муфты для соединений кабелей с БПИ и изоляцией из СПЭ, что позволяет применять кабели с полимерной изоляцией не только при прокладке новых линий, но и при ремонте существующих.

Как показал полувековой опыт эксплуатации кабельных линий, наряду с достоинствами, кабели с изоляцией из СПЭ имеют недостатки, в частности – триинги. Большую проблему составляет отсутствие конкретной методики по выбору типа кабеля с изоляцией из СПЭ. Рассмотрим, это подробнее.

В последнее время при строительстве линий электропередачи все чаще применяется новое техническое решение — линия с одножильными кабелями с изоляцией из СПЭ. К сожалению, в нормативно-техническую документацию (ТКП, ПУЭ и т.д.) до настоящего времени не внесены дополнения и изменения даже на кабели с БПИ, касающиеся токовых нагрузок, хотя изменения к ГОСТ 18410 были внесены в 1993 г. Информация по кабелям с изоляцией из СПЭ в этих документах полностью отсутствует. Также отсутствуют отраслевые стандарты по проектированию, прокладке, приемосдаточным и периодическим испытаниям кабельных линий с применением кабелей с изоляцией из СПЭ. В связи с этим производителям данных кабелей приходится разрабатывать инструкции по их применению.

Кабели с изоляцией из СПЭ имеют большую пропускную способность. Например, при равных условиях кабель с БПИ сечением 240 мм² можно заменить на кабель с изоляцией

СПЭ сечением 185 мм². При этом в случае применения трехжильного кабеля не возникает дополнительных требований к проектированию или прокладке кабеля с изоляцией СПЭ. Если необходимо передать еще большую мощность, то можно применять одножильный кабель с изоляцией из СПЭ. Однако при этом у проектной организации могут возникнуть вопросы, так как в нормативных документах нет четкого определения, как должен быть заземлен экран одножильного силового кабеля и в каких случаях допускается его эксплуатация с односторонним заземлением, когда необходимо выполнить его транспозицию. При этом может сказываться отсутствие достаточного опыта проектирования, монтажа и наладки, что приводит к серьезным проблемам при эксплуатации линий электропередачи с одножильными кабелями.

Основные проблемы связаны с тем, что применяются одножильные кабели больших сечений. Например, на Сочинской газотурбинной установке (ГТУ), где были использованы одножильные кабели на напряжение 10 кВ для выдачи мощности от генераторов, через несколько месяцев после начала эксплуатации кабели вышли из строя. Причиной стала ошибка проектной организации, которая при переходе через дорогу для надежности заложила каждую фазу в металлическую трубу, что при применении однофазной конструкции, работающей на переменном напряжении, делать категорически нельзя. Потребовалась полная замена кабельной линии. Были изменены трасса и условия прокладки. Заказчик принял решение — для возможности осмотра построить кабельную эстакаду.

Еще одна проблема, которая может возникнуть при применении одножильных кабелей, — выбор правильного варианта заземления экрана или металлической оболочки. Так, например, при небольшой длине (до 1 км) линии целесообразно выполнять одностороннее заземление экранов, а на другом конце устанавливать изолирующие кабельные муфты, но при этом необходимо произвести расчет напряжения. Неправильная прокладка или размещение одножильных кабелей приводит к созданию напряженностей, которые могут превышать допустимые уровни для обслуживающего персонала, а также влиять на работу микропроцессорной аппаратуры.

С помощью одностороннего заземления экранов одножильных кабелей, увеличения межфазного расстояния, прокладки без кабельных коробов можно повысить допустимую нагрузку на одножильные кабели, но при этом созданные магнитные поля в местах работы обслуживающего персонала и установки микропроцессорных устройств, а также наводки на контрольных кабелях значительно увеличатся. И наоборот, заземлив экраны с двух сторон, уменьшив межфазные расстояния, проложив кабели в стальных коробах, можно добиться уменьшения внешних влияний от одножильных кабелей, но получить перегретую изоляцию или необходимость ограничения нагрузки. Следовательно, проблема применения одножильных кабелей в сети генераторного напряжения должна рассматриваться в комплексе, а односторонний подход может приводить к их повреждениям.

В заключение отметим, что для успешного применения кабелей с изоляцией из СПЭ необходимо определить технико-экономические и эксплуатационные показатели, а также параметры потока отказов кабелей.

Литература

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ // СПб.: Изд-во “ЗЭУ”, – 2008. –104 с.
2. Пешков И. Б., Шувалов М. Ю. Электрохимическое старение полимерной экструдированной изоляции силовых кабелей: исследования, испытания, диагностика, оценка ресурса // Известия академии наук. Энергетика. 2008. №1. - С. 70-88.

УДК 631.32

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Кондратьев Е. В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

В настоящее время сложно себе представить современный город, да и любой населенный пункт, без уличного освещения, которое в темное время суток при помощи искусственных источников света увеличивает видимость. Это сделано, прежде всего, для безопасности движения транспорта и людей. Статистика свидетельствует, что в грамотно освещенных населенных пунктах снижается количество ДТП в ночное время, а также чрезвычайно низка уличная преступность. По освещенному городу легко проехать, найти нужную улицу и дом, безопасно подойти к освещенному входу в подъезд. На данном этапе развития человечества большое внимание уделяется проблеме экономии электроэнергии. Одно из направлений решения стоящей проблемы заключается в экономии электроэнергии на освещение.

Рассмотрим эффективность применение светильников со светодиодными лампами в наружном освещении. Предположим, что вместо применяемых дуговых ртутных ламп (ДРЛ) мощность 250 Вт, и более распространенных дуговых натриевых трубчатых ламп (известными как ДНаТ) мощностью 150 Вт, будут использоваться светильник со светодиодной лампой мощностью 120 Вт. Выбор таких мощностей ламп соответствует близкому по значению световому потоку [1].

Табл. 1 Сравнение ламп по ключевым параметрам.

	Ртутные газоразрядные лампы (ДРЛ)	Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)	Светодиод (LED)
Мощность	250 Вт	150 Вт	120 Вт
Световой поток	13 000 лм	15 000 лм	13986 лм
Световая отдача	52 лм/Вт	100 лм/Вт	112 лм/Вт
Индекс цветопередачи	42	40	75

Ключевые параметры: мощность ламп, световая отдача, индекс цветопередачи, срок службы. Нужно отметить энергоэффективность светодиодов (120 Вт против 150 Вт и 250 Вт). При одинаковом световом потоке выглядит экономичнее светодиод (112 лм/Вт), когда у ДНаТ около 100 лм/Вт. Светодиоды, мощностью 120 Вт, имеют Ra около 75, в то время как ДРЛ и ДНаТ около 40-42. Соответственно спектр источника света шире у светодиодов. Заявленный срок службы ДРЛ и ДНаТ составляет около 10000-12000 часов, то светодиоды, заявляет производитель, способен служить от 30000 часов [2].

Перечислим основные преимущества и недостатки светодиодных ламп перед другими аналогами.

Плюсы:

- отсутствие ультрафиолетового излучения;
- низкий уровень электромагнитных пульсаций <1%;
- равномерный свет, без заметных мерцаний;
- направленное свечение;
- широкий диапазон цвета и оттенков освещения 2700-6700К;
- рабочий ресурс от 30 000 часов;

- большой выбор исполнения цоколя и способов установки;
- адаптация под любое питающее напряжение 12-220 В;
- гарантия от производителя;
- световой поток обладает высокой однородностью и отсутствием мерцания

Световой поток равномерно распределяется по всему освещаемому пространству, обладая высокой насыщенностью и ярким цветом;

- обладают повышенным показателем механической прочности, стойкости к вандализму, стойкости к повышенным вибрациям, присущим промышленным и транспортным объектам;
- защищены от проникновения пыли и влаги, и не подвержены негативному воздействию осадков и других внешних факторов;
- чрезвычайно стойки к пониженным температурам и неограниченному количеству циклов вкл./выкл.;

Минусы:

- все еще достаточно дорогие;
- недостаточно изучено влияние на здоровье;
- при замене, необходимы значительные начальные капиталовложения [2], [4].

Огромное количество плюсов позволит значительно сэкономить как на качестве освещения, на потреблении электроэнергии, так и на монтажных работах по замене ламп.

Был проведён примерный расчёт срока окупаемости светильника со светодиодной лампой при замене ДРЛ и ДНаТ, который показал, что замена на светодиоды окупят ДРЛ 250 Вт примерно через 5-6 лет, ДНаТ 150 Вт примерно через 10-11 лет. Затраты на обслуживание для светильников со светодиодами будут значительно меньше, так как они обладают повышенным показателем механической прочности, стойкости к вандализму, стойкости к повышенным вибрациям; также удорожание электроэнергии и снижение цены на светильники со светодиодными лампами – следовательно сроки окупаемости будут уменьшаться [2].

Экономия электроэнергии - крайне важный аспект жизни современного человеческого общества. В качестве новых технологических решений в этой области можно рекомендовать:

- применение современных систем управления освещением;
- применение современной осветительной арматуры;
- применение светильников брендовых производителей, с большим опытом работы в данной сфере;

Современные системы управления позволяют автоматически отключать или уменьшать уровень освещенности с помощью одного или нескольких элементов управления в тех местах, где допустимо такое регулирование освещенности [4].

Были рассмотрены варианты использования светодиодных светильников с солнечными батареями. Плюсы использования автономных светодиодных установок:

- такие светильники оснащены датчиком освещенности, который автоматически включает лампу в темное время суток;
- оборудование таких светильников оснащено датчиком движения и позволяет включать их автоматически в нужный момент;
- нет расходов на электроэнергию;
- такими светильниками можно реализовать любую интересную идею ландшафтной или архитектурной подсветки;
- полная независимость от внешних сетей;

- возможность создания освещения на отдалённых участках без доступа к электросетям;

- бескабельная система;
- недорогое обслуживание;
- надёжность и длительный срок эксплуатации;
- яркость и максимальная естественность света;
- свобода в выборе цвета освещения (светодиоды имеют разные цветов и оттенков).

Минусы:

- небольшая выработка энергии в пасмурные;
- возможны сбои в работе аккумуляторов в сильные морозы [4].

Светодиодные светильники с солнечными батареями чаще всего применяются на пешеходных переходах, улицах в населённых пунктах вдали от электросети, освещение рекламных щитов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

Высокая световая отдача, низкое энергопотребление, наличие светильников разной цветовой температуры позволяет использовать светодиодные источники света в уличном освещении. Замена ДРЛ и ДНаТ на светильники со светодиодами оправдана экономически.

Литература:

1. Козловская В. Б. Электрическое освещение: учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с., [12] л. цв. ил.
2. Энциклопедия освещения в России №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://indeolight.com/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
3. Источники света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
4. Светодиодные лампы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://luminis.by/>. – Дата доступа: 10.02.2016.

УДК 621.311.6.03

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Швед Г.А.

Научный руководитель Колосова И.В.

Перенапряжения это завышенное или циклично завышенное напряжение. Обычно является следствием так называемого "перекоса фаз" — неравномерная нагрузка на разных фазах. В этом случае на нагруженной фазе происходит постоянный провал, а на двух других постоянное перенапряжение. Перенапряжение сокращает срок службы самого разного оборудования. Временное перенапряжение бывает импульсным и высокочастотным.

Высокочастотные (ВЧ) перенапряжения на высоковольтном оборудовании подстанций являются результатом высокоскоростной перезарядки емкостей шин распределительных устройств при электрических пробоях изоляционных промежутков во время аварийных и эксплуатационных коммутаций.

Высокочастотные перенапряжения возникают:

- в начальный момент коротких замыканий на шинах подстанций;
- при не удаленных коротких замыканиях на присоединениях;
- при работе короткозамыкателей; при электрических пробоях межконтактных промежутков высоковольтных выключателей;
- при коммутациях разъединителями холостых участков шин и маломощных электрических аппаратов: шин ячеек выключателей, обходных систем шин, ячеек с трансформаторами напряжения, разрядниками и т.д.

Выполняя ремонтных и профилактических работ приходится отключать сборные шины, а также участки ошиновки, связывающие эти шины с оборудованием подстанции. Например, при ремонте шинного трансформатора тока силовые трансформаторы и линии переводятся на обходную систему шин, а оставшиеся без нагрузки шины отключаются. При ремонте трансформатора напряжения отключается его ячейка с присоединенными разрядниками и отрезками шин.

Если отключение ненагруженных шин производится выключателем, то повторных зажиганий дуги между расходящимися контактами выключателя практически нет и перенапряжений нет. Но иногда схема подстанции не предусматривает шиносоединительных выключателей и отключать ненагруженные шины приходится разъединителями. Многократные повторные зажигания дуги при этих операциях и возникающие при этом перенапряжения на отключаемых и на питающих шинах зависят от ряда факторов, основными из которых являются величина напряжения перед пробоем на контактах разъединителя, протяженность коммутируемых шин, особенности схемы подстанции.

При каждом пробое межконтактного промежутка разъединителя в высоковольтной схеме подстанции возникают затухающие электромагнитные колебания с частотой от 50 до 1000 кГц и длительностью 10-500 мкс. Число таких процессов за одну коммутацию может составить от нескольких десятков до нескольких тысяч в зависимости от параметров схемы, класса напряжения распределительных устройств, скорости движения контактов разъединителя, метеоусловий. Амплитуда колебаний меняется за коммутацию от сотен вольт при малых размерах межконтактного промежутка до $3,5 U_{фм}$ при максимальных пробиваемых расстояниях между контактами, что представляет реальную опасность для высоковольтного оборудования. Наблюдаются выходы из строя элементов настройки ВЧ заградителей, повреждение изоляции измерительных трансформаторов, разрушения разрядников.

Разрядники как средства защиты от перенапряжений, малоэффективны в связи с резким подъемом их вольт-секундная характеристика при предразрядных временах менее 1 мкс. Разрядники сами нуждаются в защите от высокочастотных перенапряжений. Высокие

значения высокочастотных перенапряжений приводят к многократным срабатываниям разрядников за одну коммутацию разъединителя, к перегрузке нелинейных сопротивлений сопровождающим током и отказу разрядников.

Мероприятия по ограничению высокочастотных перенапряжений и защите от них оборудования действующих подстанций следующие:

1. Регулировка приводов разъединителей на синхронность движения ножей.
2. Не допускать недовключенное положение разъединителя с горящим искровым разрядом.

3. На подстанциях 22 кВ и выше целесообразно исключить подачу напряжения на протяженные холостые шины и снятие напряжения с них с помощью разъединителей. Эти операции целесообразно выполнять выключателями.

4. При выборе типа или конструктивной модификации разрядников следует отдавать предпочтение разрядникам с повышенным коэффициентом импульса при малых предразрядных временах. Если при одной коммутации разъединителем наблюдается большое число срабатываний разрядника (более 5), то такой разрядник подлежит замене на другой тип или на нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН).

5. Выбор мест безопасной установки разрядников производится на основании предварительного анализа ВЧ перенапряжений, при невозможности выполнения этого условия разрядник необходимо поставить под защиту емкостных трансформаторов напряжения, специальных емкостей или аппаратов, входная емкость которых соизмерима с емкостью конденсаторов связи.

6. Нельзя подключать разрядник в средней части длинных (более 50 м) воздушных переходов от блочных трансформаторов, где наиболее вероятны перенапряжения. Разрядник должен быть максимально приближен к трансформатору.

7. Нельзя располагать разрядник вблизи разомкнутых концов рабочих и обходных систем шин или перед высокочастотными заградителями со стороны распределительных устройств, где наблюдаются наибольшие амплитуды высокочастотных перенапряжений.

8. При невозможности выполнения достаточного объема мероприятий по ограничению высокочастотных перенапряжений необходима замена разрядников на ОПН. Их следует рассматривать как средство ограничения высокочастотных перенапряжений, если частота последних не превышает 200 кГц. При более высоких частотах ОПН слабо реагирует на первый пик высокочастотных перенапряжений, но ограничивает последующие.

9. На протяженных системах шин, подлежащих частым коммутациям разъединителями в холостом режиме (обходные системы шин), использование емкостных трансформаторов напряжения нежелательно, следует применять электромагнитные трансформаторы, которые за счет принудительного снятия заряда с шин в 2 – 3 раза снижают как высокочастотные, так и низкочастотные перенапряжения. Их целесообразно устанавливать в трех фазах шин, при применении только в одной фазе в двух других необходимо предусмотреть специальные мероприятия, способствующие ускоренному снятию заряда.

10. Эффективным средством ограничения высокочастотных перенапряжений является использование на питающих шинах, на длинных воздушных переходах к силовым трансформаторам специальных емкостей типа конденсаторов связи.

11. Для распределительных устройств с протяженными сборными шинами эффективной мерой ограничения высокочастотных перенапряжений является деление шин продольными реакторами, в качестве которых могут быть использованы высокочастотные заградители без элементов настройки с упрощенной защитой.

«SMART GRID – УМНЫЕ СЕТИ: НОВАЯ ИДЕЯ ИЛИ ЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

Злотникова Е.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Цель доклада: познакомиться с «Умными Сетями» – «Smart Grid», разобраться, что же такое «Умные сети»- новая идея или же логическое развитие систем электроснабжения.

Для достижения заданной цели поставленные задачи:

- Обнаружить отличия «Умных» и «стандартных» сетей электроснабжения;
- Познакомиться с характеристиками Smart Grid;
- Выяснить атрибуты и достоинства «Умных Сетей»;
- Определить необходимость создания Smart Grid;
- Поинтересоваться перспективой создания «Умных Сетей» в Беларуси.

Как громко и внушительно: «Smart Grid» - «Умные сети»! А что раньше сети были «глупыми»? Теперь начали «умнеть»? Или мы хотим всем миром (читай государством на основе собранных налогов) заставить сети электроснабжения «поумнеть»?

Компьютерная и Интернет революция, которые мы теперь переживаем, призваны качественно улучшить эффективность энергопотребления. Именно с ИТ связаны основные ожидания общества в отношении устойчивого и эффективного энергопроизводства и энергопотребления.

Умные сети электроснабжения (англ. Smart grid) — это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Smart Grid позволяет «умным» потребителям:

- обоснованно управлять использованием и генерацией энергии (участие в работе системы);
- повышать энергоэффективность системы эл. снабж.;
- снижать стоимость и объем энергопотребления
- сокращать выбросы углекислого газа, рационально включая в систему электроснабжения ВИЭ;
- внедрять различные интеллектуальные технологии, др.

В России идея Smart Grid в настоящее время выступает в качестве концепции интеллектуальной активно-адаптивной сети, которую можно описать следующими признаками:

- насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;
- большое количество датчиков, измеряющих текущие режимные параметры для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы;
- система сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а также средства управления активными элементами сети и электроустановками потребителей;
- наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени взаимодействовать со смежными энергетическими объектами;
- средства автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;
- высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена и др.

Необходимость создания сети Smart Grid

- Умные сети необходимы для обеспечения автоматического контроля и управления энергосистемой;
- Smart Grid позволяют в автоматическом режиме ликвидировать, а иногда и предупреждать аварийные ситуации, т. о. повышается эффективность и надежность сети, производство и распределение электроэнергии становится выгоднее;
- Умные сети необходимы при введении в энергосистему ВИЭ (генерируемая мощность переменна), возможно оперативное подключения доп. нагрузки, перетоки мощности; благодаря ВИЭ снижается воздействие на ОС;
- S.G. позволяет сократить потери в электрических сетях всех классов напряжения более чем на 25%, уменьшая потребность в новых мощностях;
- S.G. позволяет снизить объем капиталовложений в развитие распределительных и магистральных сетей за счет увеличения их пропускной способности, снизить капиталовложения в строительство новых объектов;
- S.G. играет важную роль в дальнейшем технологическом, экономическом и экологическом развитии общества (S.G. - катализатор экономического роста) - реализация положений концепции: развития инновационных технологий, расширение масштабов производства высокоинтеллектуальной продукции, более интенсивное применение электрической энергии в транспортной инфраструктуре (автомобилей с электродвигателями), развитие новых рыночных отношений с привлечением в энергетику потребителей в качестве активных игроков рынка и др.

Программы разработки и внедрения умных сетей введены на государственном уровне в Европе, США, Китае и других развитых и развивающихся странах. Институтом энергетики НАН Беларуси ведется обоснование внедрения технологий S.G. в Республике Беларусь. Видимо, и в нашей стране в скором будущем появится возможность выбора поставщика электроэнергии (как мы уже привыкли поступать с тарифами мобильной связи), а про аварийные отключения электроэнергии в целых районах и вовсе забудем. Использование зарубежного опыта, не слепое копирование, а осознанное применение лучших практик в проекции на отечественную действительность, является образцом рационального использования общемирового опыта.

Данная работа может быть полезна при изучении перспектив развития электроэнергетики.

Литература

1. Автоматизация и ИТ в энергетике. Ледин С. № 11 (16), 2010.
2. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России. Дорофеев В.В., Макаров А.А. /Энергоэксперт, 2009, № 4 (15).
3. Актуальные направления применения информационных технологий в энергоснабжении. Кузнецов А.С. XI Международная научно-практ. конф. «Управление информационными ресурсами», «Интеллектуальные системы электроснабжения» Минск, 12 декабря 2014 г.– Мн., 2014.
4. Энергетика 2030: глобальные тренды и национальная энергетическая политика: моногр. / А. М. Забровский, М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов.– Мн., 2013.
5. Энергетическая революция. XXI век. Перегрузка // Мировая политика и ресурсы World Policy and Resources Research (www.wprg.ru) – аналитические материалы.
6. Smart Grid по-русски Гуревич В. И.
7. Smart Grids European Technology Platform| www.smartgrids.eu.smartgrids.eu (интернет-ресурс).
8. <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> (интернет-ресурс).

УДК 621.32

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

Системы автономного освещения на основе солнечных фотомодулей становятся всё популярней с каждым днём. Их используют для частных домов, дач, садовых участков, парков, городских улиц и автотрасс.

В зависимости от объекта освещения меняется состав системы освещения, но основной принцип - использования солнца, как источника энергии.

Преимущества автономного освещения

Автономное светодиодное освещение на основе фотомодулей имеет много преимуществ. К ним относится полная независимость от внешних сетей, что в сочетании с бескабельной системой даёт возможность создания освещения на отдалённых участках без доступа к электросетям.

К преимуществам можно отнести: отсутствие необходимости разрешительных документов, недорогое обслуживание, надёжность и длительный срок эксплуатации, отсутствие мерцания.

Яркость и максимальная естественность света, а также свобода в выборе цвета освещения даёт возможность использовать автономное уличное освещение в качестве архитектурного освещения.

Минусами можно назвать, небольшая выработка энергии в пасмурные и возможны сбои в работе аккумуляторов в сильные морозы [2].

Области применения

1. Пешеходный переход

Комплект освещения пешеходного перехода предназначен для идентификации и освещения пешеходного перехода. В состав входит светофор типа Т.7 с миганием желтого света и светодиодный светильник направленного света, оснащенный датчиком движения и датчиком освещенности. Светодиодный светильник срабатывает сразу же, когда в темное время суток к пешеходному переходу подходит пешеход. Таким образом, установка обеспечивает комплексное решение идентификации и освещение пешеходного перехода.

Устанавливается в местах, где доступ к электросети затруднен или отсутствует, таких как: дороги вне населенных пунктов, междугородние автомагистрали, улицы в населенных пунктах вдали от электросети [4].

2. Автономное светодиодное освещение рекламных щитов на основе солнечных панелей

Всё большей популярностью пользуются системы автономного светодиодного освещения рекламных щитов, которые запитаны от солнечных батарей.

Как и в случае использования на пешеходном переходе основным преимуществом будет являться возможность

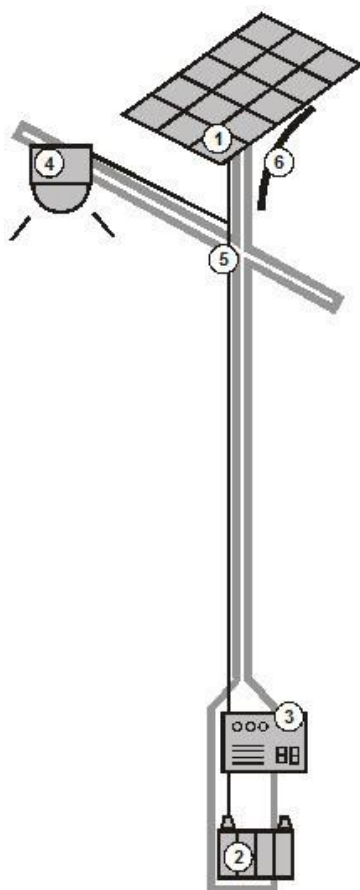


Рисунок. 1

- 1.Первичный преобразователь солнечной энергии в электрическую, панели фотозлектрическими элементами.
- 2.Аккумуляторы.
- 3.Контроллер заряда, обеспечивающий нормирование выходного напряжения первичного преобразователя, зарядку аккумуляторов
- 4.Светильник
- 5.Опора, провода, коммутационные устройства
- 6.Монтажные элементы

подсветки билбордов в местах, где доступ к электросети затруднён или отсутствует.

3. Автономная светодиодная система освещения для дачи и сада

Очень часто солнечные светодиодные освещение на дачах используется для декора (подсветка дорожек, въезда, крыльца, клумб, газонов, и т.п.). Модели декоративных светодиодных светильников имеют различные формы (гирлянды, звери, деревьев птицы, причудливые фигурки и т.д.). Часто декоративное освещение оснащено дополнительными контроллерами, для работы в режиме мигания, мерцания, бегущих огоньков.

Также можно обеспечить автономное освещение внутри дачного дома и территории вокруг (светодиодные фонари на СБ) [3].

4. Автономная светодиодная система освещения для парков и общественных мест

Принцип системы автономного освещения парков и общественных мест такой же, как и для улицы. Упор делается на обеспечения яркого освещения в тёмное время.

Светодиоды используются для ландшафтной и архитектурной подсветки, что снижает затраты на декоративную городскую подсветку в ночное время. Также светодиодные фонари на солнечных панелях можно установить и на междугородних транспортных остановках [3]. Таким образом можно сделать следующие выводы:

Наружное освещение необходимо не только в городе, где энергетическая инфраструктура хорошо развита, но и там, где до ближайшего подключения к центральной энергосети необходимо затратить большое количество ресурсов

В освещении нуждаются не только улицы, но и удаленные парковки, стоянки сельскохозяйственных машин, проблемные участки автотрасс, пешеходные переходы, территории рекреационного назначения (парки, пляжи) и многое другое [1].

Оптимальным решением является использование автономных светильников на солнечной энергии. Их установка не требует ни подключения к электросети, что зачастую весьма проблематично, так как требуется прокладка кабеля, ни оформления разрешений. Вы сами выбираете нужно место и просто монтируете солнечный светильник на любую подходящую опору, которой может являться столб, стена здания, забор или даже дерево!

Литература:

1. Автономное освещение улиц и дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.multiwood.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
2. Автономное уличное освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmosfera.ua/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
3. Экономия с уличным освещением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strmnt.com/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
4. АГРОМАСТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pk-agromaster.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2016.

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Артименя А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ТЭС

Астапчик Н.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

ТИПЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ. ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Бартош Р.Т.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н.Б.

АНАЛИЗ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Басов В.С.

Научные руководители – старший преподаватель Буров А.Л., старший преподаватель Романко В.А.

СИСТЕМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МАСЛОСИСТЕМЫ ТУРБОАГРЕГАТА

Березич С.И.

Научный руководитель – ассистент Зеленин Д.С., ассистент Денисов С.М.

ПРОЕКТ БЕЛОРУССКОЙ АЭС. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Богдан Е.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н.Б.

МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕЙТРОНОЙ МОЩНОСТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Будревич Н.В., Пташиц К.П., Чебаевская А.М.

Научные руководители – д.т.н., профессор Кулаков Г. Т., к.э.н., доцент Кравченко В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ПГУ СПОСОБОВ ВПРЫСКА В ГАЗОВЫЙ ТРАКТ

Воронцов А.А.

Научные руководители – старший преподаватель Романко В.А., ассистент Павловская А.А.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОСЕВОГО КАНАЛА РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Евдосюк Д.С.

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

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ПУТЕМ ВПРЫСКА ВЛАГИ В ЗОНУ ГОРЕНИЯ

Зозуля С.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

СУПЕРМАХОВИКИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Кенум Е.Л.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ

Кирейчик Д.П.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕДОЧИСТКИ ВПУ ТЭС

Ковалёва Т.П., Ковалёв М.С.

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

ПАРОКИСЛОРОДНЫЙ И ПАРОВОДОКИСЛОРОДНЫЙ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ, ПАССИВАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ковалёв М.С., Ковалёва Т.П.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ ВОДЫ БАРАБАННОГО КОТЛА

Кондратенко П.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ТРУБ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Кучко Д.А.

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

ПНЕВМОАККУМУЛИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ГРАФИКОВ СУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ

Лихута А.В., Олизарович Е.А.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРЕВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ И ПИКОВЫМИ БОЙЛЕРАМИ ТУРБИН ПТ-60-130/13

Лихута А.В.

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

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лихута А.В.

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

СИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Маринович А.Н., МАГИСТРАНТ

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОБЛОКА НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ЗА КОТЛОМ

МАРКОВА А.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ КРАВЧЕНКО В.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ САР ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

МИШОТА О.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР КУЛАКОВ Г.Т.

КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДИСКОВ И ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ПАРОВЫХ ТУРБИН И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

ПАНТЕЛЕЙ В.Е.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ТУРБИН ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОФИКАЦИИ ГОРОДА

ПУНЬКО Р.Л.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ РОМАНКО В.А., АССИСТЕНТ ПАВЛОВСКАЯ А.А.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРБОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛА ТУРБИН

РАДЕЧКО Е.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ КАЩЕЕВ В.П.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

РАДЦЕВИЧ В.Ф., РОДИК А.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ КАЧАН С.А.

ВНЕДРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС И АЭС В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС КАФЕДРЫ ТЭС БНТУ

РИМАШЕВСКАЯ Е.Д.

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

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИНЫ

РУТО Д.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПРОНКЕВИЧ Е.В.

САР ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЯМОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

САМАРДАК С.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ ЗЕЛЕНИН Д.С., АССИСТЕНТ ДЕНИСОВ С.М.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

СЕМУК П.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛЮЧЁННЫХ ТУРБИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ ТЭЦ

Соловей Д.Н., Поджаров А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ ПУСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА

Станевич А.Т.

Научные руководители – старший преподаватель Буров А.Л., ассистент Павловская А.А.

ВЕДЕНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА П КОНТУРА С ДОЗИРОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ АМИНОВ (МОРФИНА И ЭТАНОЛАМИНА) НА АЭС С ВВЭР-1000

Струй Е.В.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

Харитонов А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Хроян В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРИТИЧНОСТИ В ЖИДКОСОЛЕВОМ ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ С ЦЕЛЬЮ ТРАНСМУТАЦИИ МИНОРНЫХ АКТИНОИДОВ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

Научные руководители – ассистент Денисов С.М., ассистент Зеленин Д.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАРАБОТКИ ПЛУТОНИЯ-238 ДЛЯ НУЖД КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И МЕДИЦИНЫ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

Научные руководители – ассистент Денисов С.М., ассистент Зеленин Д.С.

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Шахотько В.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В КАЧЕСТВЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ИХ РЕСУРСА

Шишло В.А., Гульницкий В.В.

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

БЕЛОРУССКАЯ АЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ СТРАНЫ

БОТЬКО Е.Н.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н. ПРОФЕССОР КАРНИЦКИЙ Н.Б.

УДК 621.311

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Артимена А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

В теплофикационных турбинах возможно получение дополнительной мощности сверх номинальной величины при неизменном расходе свежего пара. Дополнительная мощность может быть использована постоянно ввиду имеющегося дефицита по выработке электроэнергии на ТЭЦ, а также для покрытия пиковой или полупиковой частей графика электрических нагрузок.

При рассмотрении возможности и экономической целесообразности получения дополнительной мощности определяющими критериями являются: конструктивная возможность рассматриваемого решения и необходимые для этого дополнительные капиталовложения, надежность работы оборудования, величина и тепловая экономичность дополнительной мощности.

Дополнительная мощность при увеличении расхода пара сетевой воды на турбоустановку

Современные теплофикационные турбины спроектированы исходя из работы ТЭЦ с коэффициентом теплофикации $\alpha_{ТЭЦ} = 0,5$. Это значит, что при минимальной температуре наружного воздуха тепловые нагрузки установленных на ТЭЦ теплофикационных турбин и водогрейных котлов равны.

В настоящее время по ряду причин, например, при отставании роста тепловой мощности турбин ТЭЦ от повышения такой тепловой нагрузки присоединенного района теплоснабжения или при ограничении числа турбин ТЭЦ (по сравнению с требуемым), с целью уменьшения расхода или органического топлива и/или по экологическим соображениям для обеспечения тепловой нагрузки на ТЭЦ устанавливаются дополнительные водогрейные котлы. Они могут быть установлены по двум конкурентным схемам: отдельной группой, не связанной с турбинами ТЭЦ и с независимым подводом дополнительной сетевой воды (в этом случае условия работы турбин не изменяются); с включением в общую схему ТЭЦ параллельно остальным водогрейным котлам. В последнем случае дополнительная сетевая вода проходит через подогреватель сетевой воды ПСГ турбины, после чего поступает в основные и дополнительные водогрейные котлы. При новом соотношении тепловой нагрузки турбин и водогрейных котлов $\alpha_{ТЭЦ}$ снижается до 0,30–0,35 и соответственно расход сетевой воды W через ПСГ возрастает в 1,4–1,6 раза по сравнению с минимальным.

При увеличении расхода сетевой воды W температура ее на входе в ПСГ остается неизменной, а на выходе снижается, что позволяет уменьшить давление в верхнем по ходу сетевой воды регулируемом отборе пара и в результате этого увеличить электрическую мощность турбины на величину ΔN_c при неизменном расходе теплоты на турбоустановку.

По данным исследований, выполненных применительно к турбинам Т-100-130 и Т-250/300-240, снижение давления в регулируемом отборе пара при уменьшении $\alpha_{ТЭЦ}$ приводит к увеличению энтальпийных теплоперепадов на ступени предотборного среднего отсека (СО) и к уменьшению – на ступени промежуточного отсека (ПО), расположенного между отопительными отборами пара, в результате чего снижается их КПД. Одновременно происходит увеличение расхода пара на подогреватель второй ступени (ПСГ-2), что приводит к увеличению потерь давления в трубопроводе подвода пара к ПСГ-2. В связи с этим величина увеличения электрической мощности ΔN_c будет ниже указанного значения.

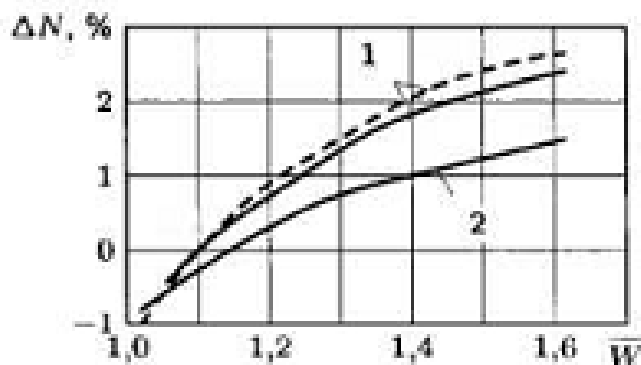


Рисунок 1 – Изменение мощности турбины при увеличении расхода сетевой воды W_{cp} на среднезимнем режиме номинальном расходе пара в результате перестановки предотборных ступеней: 1 – турбина Т-250/300-240; 2 – турбина Т-100-130: _____ – облопачивание переставляемой ступени не меняется; _____ – облопачивание переставляемой ступени оптимальное: W_{cp} – отношение сетевой воды через ПСГ к величине номинального расхода ($8000 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Дополнительная мощность при работе турбины с увеличенным пропуском пара в ЦНД и охлаждением конденсатора захолаженной сетевой водой

При охлаждении конденсатора обратной сетевой водой на теплофикационных режимах работы турбины по тепловому графику топливо экономится вследствие утилизации теплоты вентиляционного расхода пара ступеней ЦНД, теплоты пара эжектора, сбрасываемого через линию рециркуляции в конденсатор, а также теплоты пара концевых уплотнений ЦНД.

Из-за повышенной до $70 \text{ }^\circ\text{C}$ температуры обратной сетевой воды и увеличенного до 50 кПа давления в конденсаторе для турбин Т-250/300-240 и Т-185/220-130 режим работы с пропуском сетевой воды через конденсатор недопустим и поэтому конструкцией турбоустановки не предусмотрен, в связи с чем для теплофикационных режимов работы турбины характерны дополнительные потери теплоты в цикле. Однако при реконструкции турбоустановок в условиях ТЭЦ имеется возможность осуществить подвод сетевой воды и пропуск ее в два хода через встроенный пучок конденсатора.

Исходным режимом, относительно которого рассмотрено изменение мощности турбины, принят режим работы по тепловому графику с номинальным расходом пара, номинальной тепловой нагрузкой и минимальным расходом пара в конденсатор, охлаждаемый циркуляционной водой. При изменении расхода пара в ЦНД температура прямой сетевой воды не изменялась.

Повышение мощности турбины реализуется за счет увеличения расхода пара в ЦНД при открытии регулирующих диафрагм ЦНД. При некотором расходе пара в ЦНД регулирующие диафрагмы полностью открываются, и дальнейшее увеличение расхода пара в ЦНД, как известно, возможно только при повышении давления в камерах отопительных отборов, т.е. при работе в режимах с естественным повышением давления (ЕПД). При переходе к режимам с ЕПД изменяется не только давление в камерах отопительных отборов, но и зависимость дополнительной мощности $\Delta N = f(G)$. Режим работы турбоагрегата с пропуском пара в ЦНД имеет две характерные области: без и при наличии ЕПД. Начало режима ЕПД, соответствующее полному открытию регулирующих диафрагм ЦНД, определяется давлением в регулируемом отборе пара: чем ниже давление в отборе, тем меньший расход пара могут пропустить полностью открытые регулирующие диафрагмы ЦНД.

Дополнительная мощность при отключении теплообменных аппаратов в системе регенеративного подогрева питательной воды

Одним из путей повышения эффективности теплофикационных турбин и улучшения экологии окружающей среды является использование их в составе ТЭЦ и ПГУ, разрабатываемых по сбросной схеме с низконапорным парогенератором. В этом случае возможно частично или полностью отключить систему регенерации низкого и высокого давлений с утилизацией теплоты отработавших газов турбин питательной водой в теплообменниках низкого (ГВП НД) и высокого (ГВП ВД) давлений, а также получить дополнительную мощность и тепловую нагрузку.

Отключение системы регенерации, как и при отключении ПВД, связано с перегрузкой расположенных после соответствующих отборов пара ступеней турбины, в особенности предшествующих отопительным отборам, а на конденсационных режимах – ступеней части низкого давления. Кроме того, в этом случае повышается давление пара в камерах отборов на ПВД и ПНД, изменяется осевое усилие, воспринимаемое упорным подшипником турбины. В связи с этим наряду с вопросами экономичности необходимо рассмотреть проблему надежности элементов турбоагрегата, генератора, ряда элементов вспомогательного оборудования и т.д.

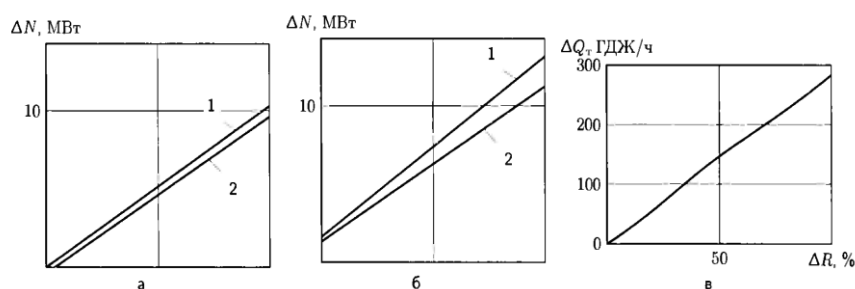


Рисунок 2 – Зависимость увеличения электрической мощности и тепловой нагрузки турбины от степени отключения системы регенерации ΔR : а – вариант № 1 проточной части СД; б – вариант № 2 проточной части СД; в – для обоих вариантов; 1 – расход сетевой воды через ПСГ 8000 м³/ч; 2 – расход сетевой воды через ПСГ 6000 м³/ч

Дополнительная мощность при отключении теплообменных аппаратов в системе регенеративного подогрева питательной воды

В теплофикационных турбинах с регулируемым отбором пара пропускная способность ЧВД выбирается по расходу пара на режиме работы турбины (ПГУ) с номинальной тепловой нагрузкой, а пропускная способность ЧНД – по конденсационному режиму. Поэтому в турбинах с регулируемым отбором пара возможно получение электрической мощности, превышающей номинальную, за счет увеличения пропуска пара в ЧНД при одновременном уменьшении регулируемого отбора пара.

Максимальная электрическая мощность в турбинах с одним регулируемым отбором пара достигается на режиме работы турбины с одновременным максимальным расходом пара через оба отсека: ЧВД и ЧНД, а в турбинах с двумя регулируемыми отборами пара – на режиме с полными расходами пара через каждые из трех отсеков: ЧВД, ЧСД, ЧНД. Для современных теплофикационных турбин максимальная мощность при уменьшении тепловой нагрузки до нуля составляет 110–125 % от номинальной и определяется конструкцией турбины, параметрами свежего пара и давлением пара в регулируемом отборе, а также допустимой нагрузкой генератора.

Дополнительная мощность может быть использована для покрытия пиковой или полупиковой части графика электрических нагрузок энергосистемы, а также в качестве аварийного и оперативного резерва. При получении дополнительной мощности уменьшение тепловой нагрузки турбоагрегата не должно, как правило, отражаться на тепловом потребителе. Поэтому если по условиям ТЭЦ турбоагрегат работает полной тепловой нагрузкой, для получения максимальной электрической мощности требуется установка дополнительного оборудования для отпуска теплоты потребителю помимо турбины.

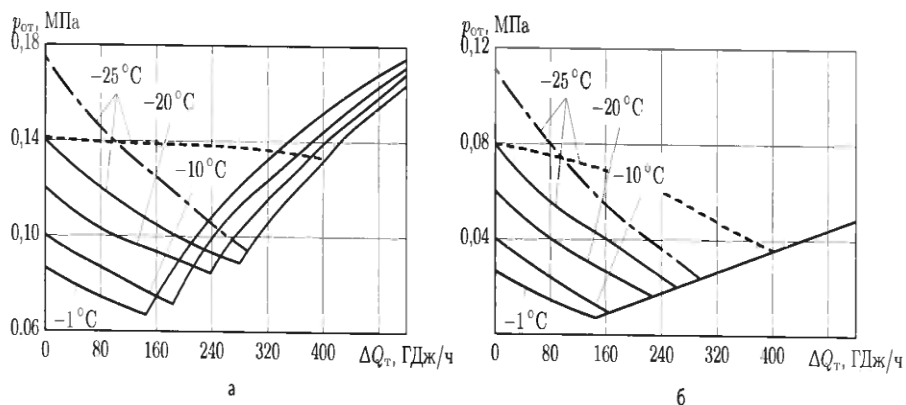


Рисунок 3 – Изменение давления $p_{от}$ в верхней и нижней камерах отборов турбины Т-100-130 в зависимости от снижения тепловой нагрузки: а – верхняя камера отбора; б – нижняя камера отбора; — — — — — $W = const, \alpha_{мэц} = 0,5$; - - - - - $W = const, \alpha_{мэц} = 0,59$; - · - · - $\tau_1 = const, \alpha_{мэц} = 0,5$; цифры на кривых – температура наружного воздуха.

Литература

1. Баринберг Г.Д., Бродов М.Ю. и др. Паровые турбины и турбоустановки УТЗ. – Екатеринбург, 2010.
2. Бененсон Е.И., Иоффе Л.С. Теплофикационные паровые турбины. – Энергоатомиздат, 1986.
3. Трухний А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов. – МЭИ, 2002.

УДК 621.184

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ТЭС

Астапчик Н.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

В настоящее время расширяется область применения мембранных методов в энергетике. Это вызвано как их технологическими преимуществами, так и экономическими причинами. Сюда же добавляются и соображения экологической безопасности.

Мировыми институтами активно ведутся исследования, направленные на использование ультрафильтрации (УФ) для водоподготовки и очистки сточных вод. Ультрафильтрационная технология разделения растворов известна давно, она успешно применяется в пищевой, химической, микробиологической и других отраслях промышленности, однако в сфере водоснабжения об этом методе всерьез заговорили не так давно.

Переход к ультрафильтрации вызван рядом причин, прежде всего – неудовлетворительным качеством исходной воды. Песчаные зернистые фильтры, входящие в состав всех станций водоподготовки, часто не в состоянии задержать очень мелкие частички (коллоиды), болезнетворные бактерии и вирусы, обычно развивающиеся в этих фильтрах. Именно на ультрафильтрационные мембраны «возложили» обязанность доочистки воды, ведь эти мембраны имеют поры размером 0,01–0,1 микрон, позволяющие задерживать бактерии и вирусы. Ультрафильтрационные мембраны эффективно задерживают взвешенные и коллоидные вещества, органические загрязнения, образующие цветность. Использование ультрафильтрации дает гарантию высокого качества очищенной воды, несмотря на сезонные колебания качества исходной воды. Кроме того, ультрафильтрация может быть использована как самостоятельный метод осветления воды в качестве предочистки перед подачей установки ионообменного обессоливания или умягчения. Современные технологии ионного обмена, в частности, противоточная регенерация, требуют тщательной предочистки по взвешенным и коллоидным веществам. Системы ультрафильтрации могут считаться хорошей альтернативой осветлительным методам.

Технологическими преимуществами УФ процессов над традиционными процессами очистки воды (коагуляцией, осаждением, фильтрованием) являются значительно сокращение рабочих площадей, относительно небольшой объем воды на потребляемых химических реагентов, исключение образования агрессивных высокоминерализованных сточных вод, минимизация вредных воздействий на окружающую среду, высокая степень автоматизации, более простое обслуживание и т.п. В то же время внедрение процессов ультрафильтрации в эти области сдерживается более высокими (в 2–3 раза) по отношению к традиционным технологиям капитальными затратами и эксплуатационными расходами. Значительная часть этих затрат и расходов является результатом мер по борьбе с образованием осадка на поверхности мембран, присутствие которого может резко снизить производительность установок и степень извлечения чистой воды.

Ключевым элементом любой ультрафильтрационной системы очистки воды являются мембранные аппараты, поэтому от выбора типа мембран, конструкции мембранных модулей и режима их работы будет зависеть успех работы всей установки.

Ультрафильтрация – это баромембранный процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий (пор) ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм. Главное отличие мембранной фильтрации от обычного объемного фильтрования в том, что подавляющее большинство всех задерживаемых веществ накапливается на поверхности мембраны, образуя дополнительный фильтрующий слой осадка, который обладает своим сопротивлением.

Наиболее экономичный режим работы ультрафильтрационных установок – «тупиковый», когда вся исходная вода пропускается через мембрану. В ряде случаев для борьбы с ростом осадка над поверхностью мембраны создают дополнительный поток из обрабатываемой жидкости, который размывает накапливающийся осадок. Жидкость, содержащая удаленные с поверхности мембраны загрязнения, выводится из разделительного аппарата. Для более эффективного удаления загрязнений с поверхности и из пор мембраны используют метод обратных промывок, при котором очищенную воду (фильтрат) пропускают через мембрану в направлении, обратном направлению фильтрации. Такие промывки производятся от 1 до 5 раз в час, их продолжительность составляет всего 10–30 секунд, поэтому объем сбрасываемой воды составляет 2–5 % от объема фильтрата. В процессе удаления загрязнений при обратной промывке происходит вынос частиц осадка с поверхности и из пор мембраны. Необходимо отметить, что природная вода – это сложная смесь частиц различной степени дисперсности: от молекул гуминовых кислот до глинистых частичек, поэтому в ней всегда будут присутствовать частицы, соизмеримые с порами ультрафильтрационных мембран. Поэтому полностью избежать стадии закупоривания пор мембраны невозможно.

Для предотвращения биологического зарастания ультрафильтрационных мембран в воду для обратной промывки мембранных элементов добавляют дезинфектант, чаще всего, гипохлорит натрия.

В процессе длительной работы производительность мембранных аппаратов постепенно уменьшается, т.к. на поверхности и в порах мембраны сорбируются различные вещества и отлагаются частички загрязнений, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка мембранных аппаратов специальными кислотными и щелочными реагентами для удаления накопленных загрязнений.

Таким образом, основные задачи при проектировании мембранных установок – это подбор оптимального типа мембран в зависимости от состава исходной воды и определение оптимального режима эксплуатации мембранной установки, при котором загрязнение мембран было бы минимальным.

В качестве материала для изготовления ультрафильтрационных мембран в основном используются полимерные вещества – ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и их производные. Большинство ультрафильтрационных мембран – асимметричные, они состоят из тонкого селективного слоя толщиной несколько десятков мкм или менее и пористой подложки, которая обеспечивает механическую прочность. Полимерным мембранам при их изготовлении могут придаваться разнообразные свойства, что позволяет управлять их селективными характеристиками и устойчивостью к загрязнению различными веществами.

Большинство современных полимерных мембран устойчивы к воздействию микроорганизмов и химических соединений в широком диапазоне рН, обладают высокой селективностью и производительностью. Свойства мембран лишь незначительно ухудшаются в течение всего срока службы, который составляет 5 и более лет.

Капиллярные или полволоконные элементы состоят из пучков тонких полимерных трубчатых мембран диаметром 0,7–2,0 мм, фильтрация может производиться «изнутри-наружу» (рисунок 1, а) или «снаружи-вовнутрь» (рисунок 1, б). Они характеризуются довольно высокой плотностью «упаковки» мембран (площадь мембран в одном модуле может достигать 50–60 м²), высокими удельными потоками и хорошей гидродинамикой внутри волокон.

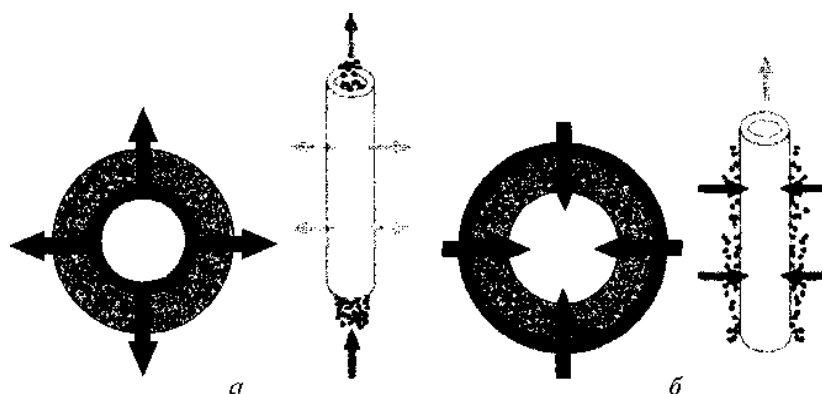


Рисунок 1 – Варианты проведения процесса фильтрации:
а – изнутри-наружу; б – снаружи-вовнутрь

Преимущества способа фильтрации изнутри-наружу:

возможность обеспечить высокие значения расхода потока фильтрата при обратной промывке (в 2–5 раз превышающие скорость рабочего фильтрации), что способствует эффективной очистке мембранной поверхности от загрязнений;

возможность регулирования скорости потока воды в канале волокон, с целью обеспечения оптимального гидродинамического режима для снижения эффекта осадкообразования на поверхности мембраны;

возможность обработки в режиме рециркуляции вод с высоким содержанием взвешенных веществ (до 1000 мг/л в случае использования мембран с внутренним диаметром полых волокон более 1,5 мм).

Недостатки способа фильтрации изнутри-наружу:

меньшая площадь фильтрации и съем фильтрата с одного волокна по сравнению со способом фильтрации снаружи вовнутрь, и, следовательно, более высокие энергозатраты.

Преимущества способа фильтрации снаружи-вовнутрь:

большая площадь фильтрации и, следовательно, более высокий съем фильтрата с одного волокна; этим обеспечивается возможность использования более низкого давления на стадии фильтрации и, соответственно, снижение энергозатрат;

компактность установок, так как мембранные элементы не всегда должны размещаться в корпусах (например, в случае применения безнапорной или вакуумной фильтрации).

Недостатки способа фильтрации снаружи-вовнутрь:

низкий расход фильтрата при обратной промывке, что осложняет качественную регенерацию мембраны и может приводить к ее ускоренному загрязнению в рабочем цикле;

невозможность обеспечить однородный характер омывания мембран на стадии фильтрации, что приводит к неравномерному отложению осадка на поверхности мембраны и, как следствие, ограничению допустимого содержания взвесей в воде.

В настоящее время широко расширяется область применения мембранных методов в энергетике, в том числе и ультрафильтрационных технологий. В нашей Республике за последние годы успешно были проведены испытания ультрафильтрационной технологии на Минской ТЭЦ-4, Минской ТЭЦ-5, на Осиповичской мини-ТЭЦ, Вилейской мини-ТЭЦ.

Принципиально важными особенностями технологии УФ являются:

ультрафильтрационные мембраны при обработке воды поверхностных источников (рек, озер, водохранилищ), а также для очистки сточных вод позволяют задерживать макромолекулы, коллоиды, вирусы, пектины, протеины, загрязнения с высоким молекулярным весом;

технология ультрафильтрации снижает расход воды на собственные нужды до 5–10 %.

при замене традиционной предочистки природных вод на технологию ультрафильтрации резко снижается потребность в площадях благодаря совмещению стадии

осветления и осаждения на фильтрах с зернистой загрузкой с экономией коагулянтов и исключения флоккулянтов;

материал мембран (модифицированный полиэфирсульфон или ПВДФ) позволяет использовать мембранные модули и после осветлителей, работающих в режиме коагуляции-известкования, так как мембраны обладают стойкостью к щелочной среде (при $\text{pH} < 11$).

Литература

1. Андрианов А.П., Первов А.Г. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях // Проекты развития инфраструктуры города: Сб. науч. трудов. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. М., 2004.
2. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. – Киев: Наукова думка, 1989.
3. Первов А.Г., Юрчевский Е.Б. Использование мембранных технологий в системах водоподготовки энергетических объектов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 5.

УДК 621.311

ТИПЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ. ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Бартош Р.Т.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н.Б.

Наверное, ни для кого не секрет, что вступление в 21 век немислимо без такого источника энергии, каковым является атомное ядро. Атомная энергетика на сегодняшний день является активно развивающейся отраслью. Очевидно, что ей предназначено большое будущее, так как запасы нефти, газа, угля постепенно иссякают, а уран – достаточно распространенный элемент на Земле. В связи с этим необходимо закладывать решение проблемы безопасности (в частности, предупреждение аварий с разгоном реактора, локализацию аварии в пределах биозащиты, уменьшение радиоактивных выбросов и др.) еще в конструкцию реактора, на стадии его проектирования.

Ядерный (атомный) реактор – устройство, в активной зоне которого осуществляется контролируемая самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер (ЯЦР) некоторых тяжёлых элементов под действие нейтронов. Любой ядерный реактор состоит из следующих частей:

- Активная зона (центральная часть реактора, где протекает самоподдерживающаяся ЯЦР и выделяется энергия) с ядерным топливом (служит для получения энергии в ядерном реакторе, представляет собой смесь материалов, содержащих делящиеся ядра) и замедлителем нейтронов (вещество, используемое для уменьшения энергии нейтронов в ядерных реакторах; графит, тяжёлая вода);

- Отражатель нейтронов (слой вещества (графита, тяжелой воды), окружающий активную зону ядерного реактора, и служащий для уменьшения утечки нейтронов из активной зоны; позволяет уменьшить критическую массу делящегося вещества и увеличить объем мощности с единицы объема активной зоны), окружающий активную зону;

- Теплоноситель (для отвода выделяющейся энергии);
- Система регулирования цепной реакции, в том числе аварийная защита;
- Радиационная защита;
- Система дистанционного управления.

Для того чтобы в реакторе происходила ЯЦР, необходимо наличие в нём делящегося вещества, которое при своем распаде выделяет элементарные частицы, способные вызвать распад других ядер.

Деление атомного ядра может произойти самопроизвольно или при попадании в него элементарной частицы. В качестве делящегося вещества в настоящее время могут использоваться изотопы урана – уран-235 и уран-238, а также плутоний-239. Самопроизвольный распад в ядерной энергетике не используется из-за очень низкой его интенсивности, поэтому для распада какого-либо атомного ядра необходимо попадание в него элементарной частицы с определенной энергией (величина этой энергии должна лежать в определенном диапазоне: более медленная или более быстрая частица просто оттолкнется от ядра, не проникнув в него). Такими частицами являются нейтроны.

В ядерном реакторе происходит ядерная цепная реакция: ядра урана или плутония распадаются, при этом образуются два-три ядра элементов середины таблицы Менделеева, выделяется энергия, излучаются гамма-кванты и образуются два или три нейтрона, которые, в свою очередь, могут прореагировать с другими атомами и, вызвав их деление, продолжить цепную реакцию.

В зависимости от скорости элементарной частицы выделяют два вида нейтронов: быстрые и медленные. Если большая часть делений происходит при поглощении тепловых (медленных) нейтронов, то такой реактор называется реактором на тепловых нейтронах. Энергия которых в такой системе не превышает 0.1 эВ. Если большая часть делений в

реакторе происходит при поглощении быстрых нейтронов, такой реактор называется реактором на быстрых нейтронах. Уран-238 делится только быстрыми нейтронами. При его делении выделяется энергия и образуется 2–3 быстрых нейтрона. Вследствие того, что эти быстрые нейтроны замедляются в веществе урана-238 до скоростей, неспособных вызвать деление ядра урана-238, цепная реакция в уране-238 протекать не может.

Классификация ядерных реакторов.

По характеру использования:

- Экспериментальные реакторы, предназначенные для изучения различных физических величин, значение которых необходимо для проектирования и эксплуатации ядерных реакторов; мощность таких реакторов не превышает нескольких кВт.

- Исследовательские реакторы, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, радиационной химии, биологии, для испытания материалов, предназначенных для работы в интенсивных нейтронных потоках (в т.ч. деталей ядерных реакторов), для производства изотопов. Мощность исследовательских реакторов не превосходит 100 МВт. Выделяющаяся энергия, как правило, не используется.

- Изотопные (оружейные, промышленные) реакторы, используемые для наработки изотопов, используемых в ядерных вооружениях, например, ^{239}Pu ; в медицине.

- Энергетические реакторы, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, при опреснении воды, для привода силовых установок кораблей, самолётов и космических аппаратов, в производстве водорода и металлургии и т.д. Тепловая мощность современных энергетических реакторов достигает 5 ГВт.

По спектру нейтронов:

- Реактор на тепловых (медленных) нейтронах («тепловой реактор»);
- Реактор на быстрых нейтронах («быстрый реактор»);
- Реактор на промежуточных нейтронах;
- Реактор со смешанным спектром.

Реактор на быстрых нейтронах БН-350 в Актау: его основное назначение – обеспечение расширенного воспроизводства делящегося плутония из урана-238 с целью сжигания всего или значительной части природного урана, а также имеющихся запасов обедненного урана. При развитии энергетики реакторов на быстрых нейтронах может быть решена задача самообеспечения ядерной энергетики топливом. Прежде всего, в реакторе на быстрых нейтронах нет замедлителя.

По размещению топлива:

- Гетерогенные реакторы, где топливо размещается в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель;

- Гомогенные реакторы, где топливо и замедлитель представляют однородную смесь (гомогенную систему).

Блоки ядерного топлива в гетерогенном реакторе называются тепловыделяющими сборками (ТВС), которые размещаются в активной зоне в узлах правильной решётки, образуя ячейки.

По виду топлива:

- изотопы урана 235 и 233 (^{235}U и ^{233}U);
- изотоп плутония 239 (^{239}Pu);
- изотоп тория 232 (^{232}Th) (посредством преобразования в ^{233}U).

По степени обогащения:

- Естественный уран (0,71 % составляет ^{235}U ; 99,29% – ^{238}U);
- Слабо обогащённый уран (до 1,5 %);
- Чистый делящийся изотоп.

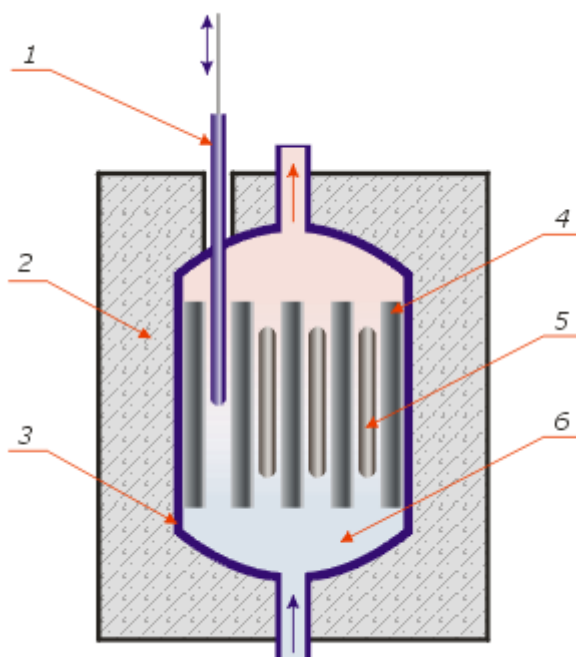


Рисунок 1 – Схематическое устройство гетерогенного реактора на тепловых нейтронах
 1 – управляющий стержень, 2 – биологическая защита, 3 – теплоизоляция, 4 – замедлитель, 5 – ядерное топливо, 6 – теплоноситель

По виду теплоносителя:

- H₂O (вода, ВВЭР);
- Газ, (Графито-газовый реактор);
- D₂O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU);
- Реактор с органическим теплоносителем;
- Реактор с жидкометаллическим теплоносителем;
- Реактор на расплавах солей;
- Реактор с твердым теплоносителем.

По роду замедлителя:

- С (графит, Графито-газовый реактор, Графито-водный реактор);
- H₂O (вода, Легководный реактор, ВВЭР);
- D₂O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU): у тяжелой воды очень

низкая степень поглощения нейтронов и очень высокие замедляющие свойства, превышающие аналогичные свойства графита, вследствие чего такие реакторы работают на необогащенном топливе, что позволяет не строить сложные и опасные предприятия по обогащению урана. Но добывать тяжелую воду очень дорого;

- Be, BeO;
- Гидриды металлов;
- Без замедлителя (Реактор на быстрых нейтронах).

По конструкции:

- Корпусные реакторы (активная зона имеет общий защитный корпус, который выдерживает давление теплоносителя, текущего общим потоком);
- Канальные реакторы (теплоноситель подводится к каждому каналу с топливной сборкой отдельно; корпус реактора не нагружен давлением теплоносителя, а это давление несёт каждый отдельный канал).

По способу генерации пара:

- Реактор с внешним парогенератором (ВВЭР);

- Кипящий реактор.

Наиболее распространёнными в мире являются водо-водяные (около 62 %) и кипящие (20 %) реакторы.

По наличию защитного контура:

- Один (РБМК);
- Два (ВВЭР).

По форме активной зоны:

- Форма цилиндра;
- Параллелепипеда;
- Шара.

Реактор с шаровой засыпкой и газовым контуром: в реакторе с шаровой засыпкой активная зона имеет форму шара, в который засыпаны тепловыделяющие элементы, также шарообразные. Каждый элемент представляет из себя графитовую сферу, в которую вкраплены частицы оксида урана. Через реактор прокачивается газ - чаще всего используется углекислота CO_2 . Газ подается в активную зону под давлением и впоследствии поступает на теплообменник. Регулирование реактора осуществляется стержнями из поглотителя, вставляемыми в активную зону. Технология производства реакторов с шаровой засыпкой еще недостаточно хорошо разработана, хотя этот тип реакторов стоило бы признать наиболее приемлемым для широкого применения, в частности, из-за отсутствия катастрофических последствий при аварии с разгоном реактора.

По времени действия:

- Непрерывного действия;
- Прерывистого действия;
- Импульсные.

Таким образом, нами рассмотрена классификация ядерных реакторов, освоены принципы получения ядерной энергии, а также проведена сравнительная характеристика канального и корпусного ядерных реакторов.

Литература

1. Основное оборудование АЭС: учеб. пособие / Дмитриев С.М. и др. – Минск: Высшая школа, 2015. – 288 с.

УДК 539.172:543.522

АНАЛИЗ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Басов В.С.

Научные руководители – старший преподаватель Буров А.Л., старший преподаватель Романко В.А.

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является количественным методом оценки частоты и последствий аварий, которые могут произойти на атомных электростанциях (АЭС). Основная польза от выполнения ВАБ заключается в детальном системном анализе проекта станции, ее эксплуатационных характеристик и внешних воздействий, включая определение доминантных вкладчиков в риск и изучение возможностей для снижения риска. ВАБ дает согласованную интегральную модель безопасности АЭС, предоставляя, таким образом, согласованную и всестороннюю структуру для принятия решений, связанных с безопасностью. ВАБ также дает количественные оценки риска АЭС, включая количественную оценку неопределенностей этих оценок. Однако необходимо четко понимать, что получение количественных оценок риска является лишь промежуточным этапом всего процесса выполнения ВАБ; количественные оценки риска являются в основном лишь средством помощи при проведении ВАБ в решении технических вопросов безопасности [1].

В международной практике сформировались три уровня ВАБ:

уровень 1: оценка частоты повреждения активной зоны реактора;

уровень 2: оценка частоты возможных выбросов радионуклидов за пределы АЭС с учетом поведения контайнмента после аварии с повреждением активной зоны;

уровень 3: оценка рисков для населения и/или окружающей среды вследствие выброса радионуклидов за пределы контайнмента, сопровождающего аварию с повреждением активной зоны [1].

Основные математические методы, используемые при проведении ВАБ, включают теорию множеств, Булеву алгебру и теорию вероятности. ВАБ выполняется путем построения интегральной логической модели (обычно, набор соединенных друг с другом деревьев событий и деревьев отказов), состоящую из логических операторов (Булевы операторы, такие как И, ИЛИ, НЕ и т.д.) и базовых событий (различные исходные события, отказы оборудования, неготовность оборудования вследствие проверок или обслуживания, отказы по общим причинам и ошибки оператора). Вероятность каждого базового события оценивается с использованием статистических данных, дополненных, где это возможно, мнением экспертов. Интегральная логическая модель последовательно решается путем применения булевых методов редукции для определения важных аварийных последовательностей. Как правило, решения интегральной логической модели представлены в терминах доминантных минимальных сечений, которые представляют собой комбинации исходных событий, отказов оборудования и ошибок оператора, необходимых и достаточных для того, чтобы вызвать интересующее вершинное событие, и определяют в совокупности основной вклад в вероятность (частоту) данного события (повреждение активной зоны, выброс за пределы контайнмента/конфайнмента и т.д.).

Существует тесная связь между разработкой логических моделей ВАБ (деревья событий и деревья отказов) и подготовкой данных, используемых для оценки вероятностей базовых событий. При выполнении ВАБ необходимо учитывать (1) конечную цель исследования, (2) требование точного представления характеристик отказа станции, систем и оборудования в рамках логических моделей, и (3) наличие соответствующих данных в обеспечение логических моделей. Большинство исследований ВАБ выполняются для определения вклада в величину риска АЭС от различных источников (надежности оборудования, технического обслуживания,

ошибок персонала и т.д.), а не просто для получения количественной оценки общего риска; соответственно, строится подробная интегральная модель. В принципе, возможно такую модель разработать с любой желаемой степенью детализации (например, насос с электродвигателем может быть разбит на составные части, такие как рабочее колесо, диффузор, корпус насоса, подшипники, соединение вала, электродвигатель и т.д.). Однако, излишняя подробность моделирования может и не требоваться, учитывая конечную цель исследования, и только усложняет разработку, поддержание и решение логических моделей ВАБ. Более того, может оказаться невозможным разработать значимые оценки вероятностей для всех базовых событий, содержащихся в излишне подробной модели деревьев отказов. Таким образом, разработчики логической модели должны работать в тесном контакте с исследователями данных в целях достижения разумного баланса между целями ВАБ и того, что является практически достижимым.

ВАБ на примере системы аварийной питательной воды. Система аварийной питательной воды (LAR/LAS) предназначена для обеспечения питательной водой парогенераторов в режимах нарушений нормальной эксплуатации и в проектных авариях, когда подача питательной воды от штатной системы и вспомогательной системы невозможна. Система должна функционировать при инициирующих событиях, связанных с понижением уровня воды в парогенераторах и требующих аварийного расхолаживания или поддержания блока в горячем резерве [2].

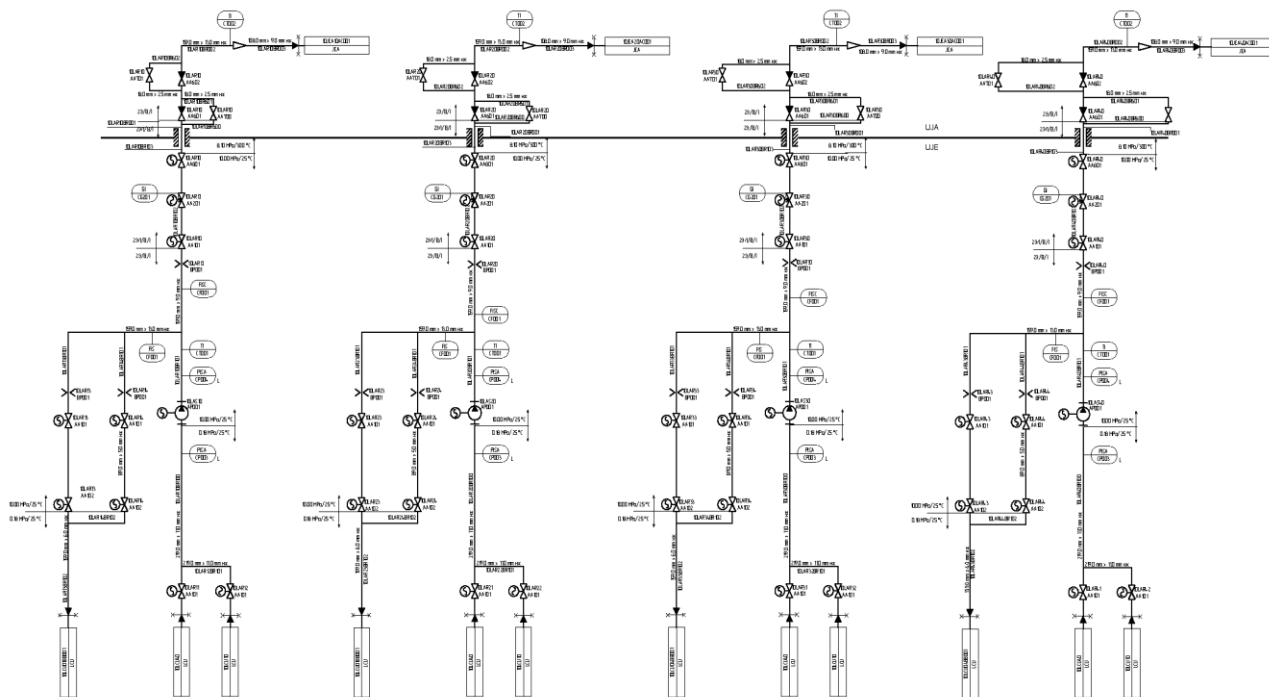


Рисунок 1 – Система подачи аварийной питательной воды энергоблока с реактором типа ВВЭР

Система состоит из четырех одинаковых и полностью независимых один от другого каналов.

В каждом канале предусмотрены:
аварийный питательный насос;
арматура;
трубопроводы.

При выборе производительности канала предполагается, что один канал может быть в ремонте, второй канал имеет зависимый от инициирующего события отказ, в третьем канале – независимый отказ. Система аварийной питательной воды структурно состоит из четырех каналов производительностью 100 % каждый. Каждый канал подсоединен к бакам запаса обессоленной воды емкостью 700 м³ каждый. В баках поддерживается заданная температура обессоленной воды от плюс 20 °С до плюс 25 °С.

Функцией безопасности, выполняемой системой аварийной питательной воды является обеспечение питательной водой парогенераторов в режимах нарушений нормальной эксплуатации и в проектных авариях, когда подача питательной воды от штатной системы и вспомогательной системы невозможна.

Критерии успеха системы: функция безопасности считается выполненной, если подается питательная вода в парогенераторы при работе одного любого канала системы.

Деревья отказов системы. Деревья отказов были выполнены при помощи компьютерного кода Risk Spectrum for Windows. Поскольку ДО всех каналов LAR/LAS одинаковы, ниже приведено ДО только для одного канала системы (рисунок 2).

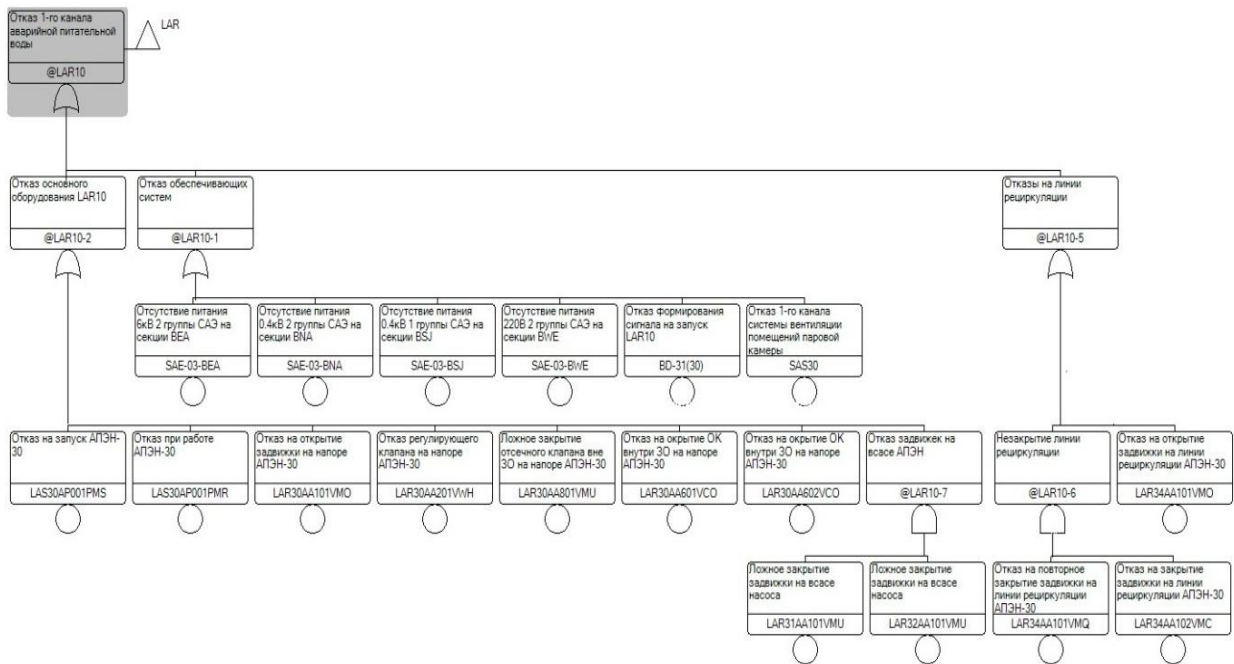


Рисунок 2 – Дерево отказов для одного канала системы подачи аварийной питательной воды

Результаты расчета для ИС.

Расчет проводился исходя из критерия успеха «Подача аварийной питательной воды в один из парогенераторов» и рассматриваемого времени работы 24 часа.

Среднее значение вероятности отказа системы по функции подачи аварийной питательной воды равно: $2,43 \cdot 10^{-9}$.

Среднее значение вероятности отказа основного оборудования одного канала: $7 \cdot 10^{-4}$.

Среднее значение вероятности отказа вспомогательных систем одного канала: 10^{-5} .

Среднее значение вероятности отказа линии рециркуляции одного канала: $2,4 \cdot 10^{-4}$.

Литература

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ): Учебное пособие / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.М. Каденко и др. – К.: 2000. – 568 с.
2. Солонин В.И. Безопасность и надежность реакторных установок. Учебное пособие по курсу "Расчеты и проектирование ядерных энергетических установок". – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 80 с., ил.

УДК 621.185

СИСТЕМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МАСЛОСИСТЕМЫ ТУРБОАГРЕГАТА

Березич С.И.

Научный руководитель – ассистент Зеленин Д.С., ассистент Денисов С.М.

Принципиальная схема простейшей масляной системы показана на рисунке 1. Масляная система турбины состоит из масляного бака, маслоохладителей, масляных насосов и маслопроводов. Эта система снабжает маслом подшипники турбоагрегата и регулирование. Кроме того, маслосистема имеет ряд вспомогательных устройств указатели уровня масла, фильтры, реле давления, инжекторы, сливные и обратные клапаны и т.д.

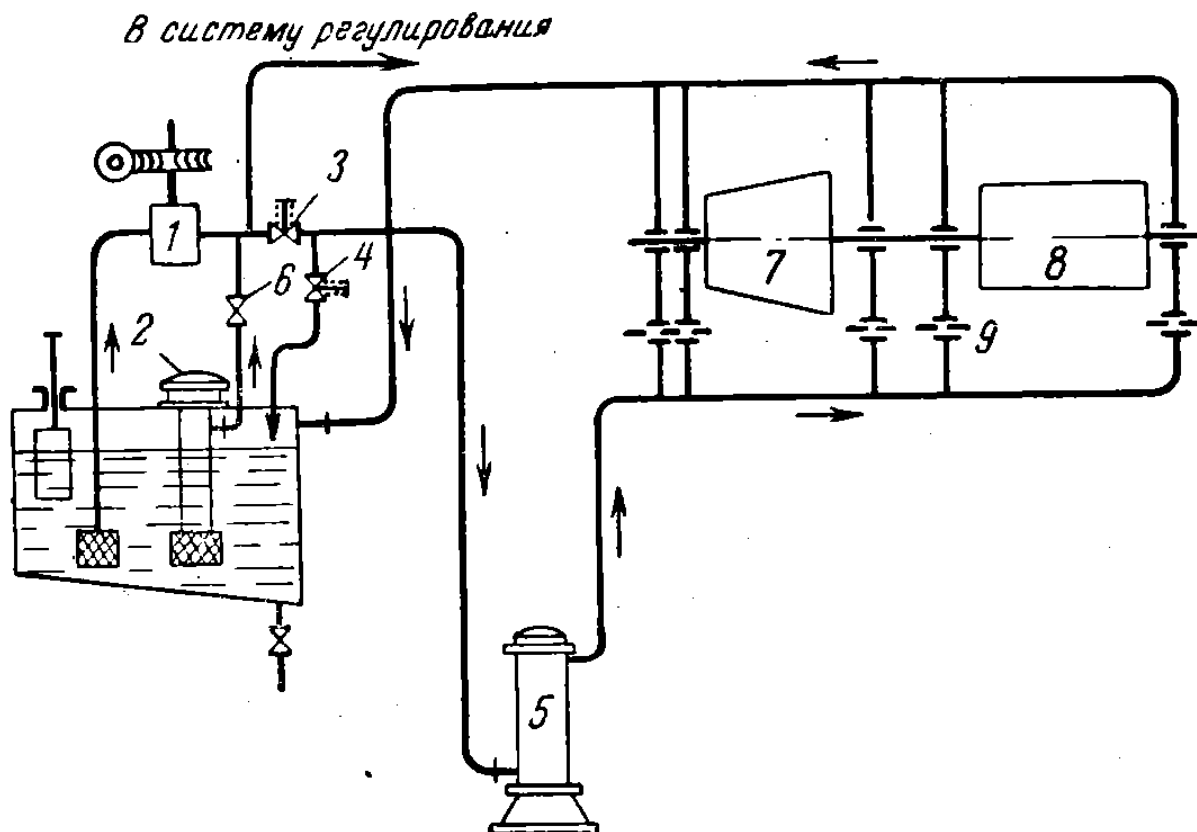


Рисунок 1 – Принципиальная схема простейшей масляной системы турбоагрегата

На рисунке обозначено: 1 – главный масляный насос; 2 – пусковой масляный турбонасос; 3 – редукционный клапан; 4 – предохранительный клапан; 5 – маслоохладитель; 6 – обратный клапан; 7 – турбина; 8 – генератор; 9 – ограничительный шайбы (диафрагмы).

Наиболее ответственным моментом подготовки маслосистемы к пуску является проверка автоматики включения резерва и аварийной сигнализации. Это особенно касается турбоустановок с электрическим приводом главного масляного насоса. В схемах с масляным насосом на валу турбины автоматическое включение резервного и аварийного маслонасосов происходит по импульсу от падения давления масла в системе смазки. Опробование аварийных систем включения и сигнализации в таких системах производится при запущенном в работу пусковом маслонасосе путем закрытия вручную задвижки на нагнетании и снижением тем самым давления масла в напорных линиях смазки. Давления масла, при которых включается аварийная сигнализация, а также происходит последовательное включение резервного и аварийного маслонасосов, должны быть зафиксированы в специальном журнале.

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.

В связи с этим обеспечение устойчивости при всех встречающихся на практике режимах работы объекта автоматизации (для данной курсовой работы – это автоматизации маслосистемы) является первоочередной задачей проектирования, наладки и эксплуатации систем регулирования.

Объектом автоматизации является технологическое оборудование масляной системы. Логическая система маслосистемы предусматривает установку двух аварийных масляных насосов постоянного тока.

Регулирование сводится к поддержанию материального баланса защиты от понижения давления масла в системе смазки и охлаждения подшипников. Параметром, характеризующим материальный баланс, является избыточное давление на сливе в маслобак. В режиме реального времени алгоритм использует для расчетов входную информацию от первичных преобразователей, из базы данных сервера и формирует управляющие воздействия и записывает их в базу данных и формирует ведомость по регулируемым параметрам автоматически за каждую смену.

Проект автоматизации маслосистемы турбоагрегата может быть выполнен на разных вариантах аппаратуры, например, ОВЕН ПЛК110 и Каскад-2.

Цифровой унифицированный комплекс устройств автоматического регулирования в микроэлектронном исполнении «Каскад-2» предназначен для построения нижнего иерархического уровня автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

В качестве элементной базы при построении устройств комплекса «Каскад-2» приняты интегральные микросхемы общего применения. Основным сигналом связи между устройствами комплекса является электрический сигнал 0-10В постоянного тока. Для связи с источником информации используются сигналы 0-5; 0-20; 4-20мА; 0-10В.

В качестве задающих устройств, блоков управления и вспомогательных устройств «Каскад-2» могут использоваться серийно выпускаемые устройства ЗУ-11, ЗУ05, БУ21, В01, В12.

Недостатками данного варианта являются трудоемкость выполняемых операций, сложностью настройки, достаточно низкое качество регулирования в связи с использованием в алгоритме регулирования П, ПД, ПИ и ПИД законов регулирования, для дистанционного задания параметра и переключения режима работы необходимы дополнительные устройства. Также данный прибор является морально устаревшим.

Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК110.

Контроллер предназначен для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, в т.ч. железнодорожном, в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства.

Преимущества решения установки ОВЕН ПЛК110 в качестве свободно-программируемого контроллера состоят в:

- Новый эргономичный контроллер с мощными вычислительными ресурсами;
- Опрашивает счетчики и энкодеры с частотой до 100 КГц и управляет в импульсном режиме сервоприводами и шаговыми двигателями;
- Ведение архива работы оборудования или работа по заранее оговоренным сценариям при подключении к контроллеру USB Flash карт;
- Простое и удобное программирование в системе CODESYS v.2 и CODESYS v.3* через порты USB Device и Ethernet;
- Включение в сети верхнего уровня с использованием Ethernet или GSM-сетей (GPRS);
- 4 последовательных порта (RS-232, RS-485);

- Широкий выбор модификаций для конкретной задачи (питание 220 В и 24 В).

Дополнительно имеются широкие возможности самодиагностики контроллера. Встроенный аккумулятор, позволяющий «пережидать» пропадание питания – выполнять программу при пропадании питания, и переводить выходные элементы в «безопасное состояние». *Время «пережидания» настраивается пользователем при создании проекта.* Встроенные часы реального времени. Возможность создавать и сохранять архивы на Flash контроллера.

Конструктивные особенности:

- Контроллеры выполнены в компактном DIN-реечном корпусе. Габаритные и установочные размеры отличаются в зависимости от модификации, и приведены в конце раздела.

- Расширение количества точек ввода\вывода осуществляется путем подключения внешних модулей ввода\вывода по любому из встроенных интерфейсов.

Примерная стоимость контроллера в Республике Беларусь – 20 млн. белорусских рублей.

По сравнению с «Каскад-2» «ПЛК110» обладает рядом преимуществ: простота настройки и эксплуатации, не требующие специальных навыков по программированию, более высокое качество регулирования за счет создания любого алгоритма регулирования, возможность обмена данными по интерфейсам RS-232 и RS-485.

При разработке проекта автоматизации в первую очередь необходимо решить, с каких мест те или иные участки объекта будут управляться, где будут размещаться пункты управления, операторские помещения, какова должна быть взаимосвязь между ними, т.е. необходимо решить вопросы выбора структуры управления. Под структурой управления понимается совокупность частей автоматической системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействий между ними. Графическое изображение структуры управления называется структурной схемой.

Хотя исходные данные для выбора структуры управления и ее иерархии с той или иной степенью детализации оговариваются заказчиком при выдаче задания на проектирование, полная структура управления должна разрабатываться проектной организацией.

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, снижение относительной стоимости системы управления, ее надежности, ремонтоспособности и т.д.

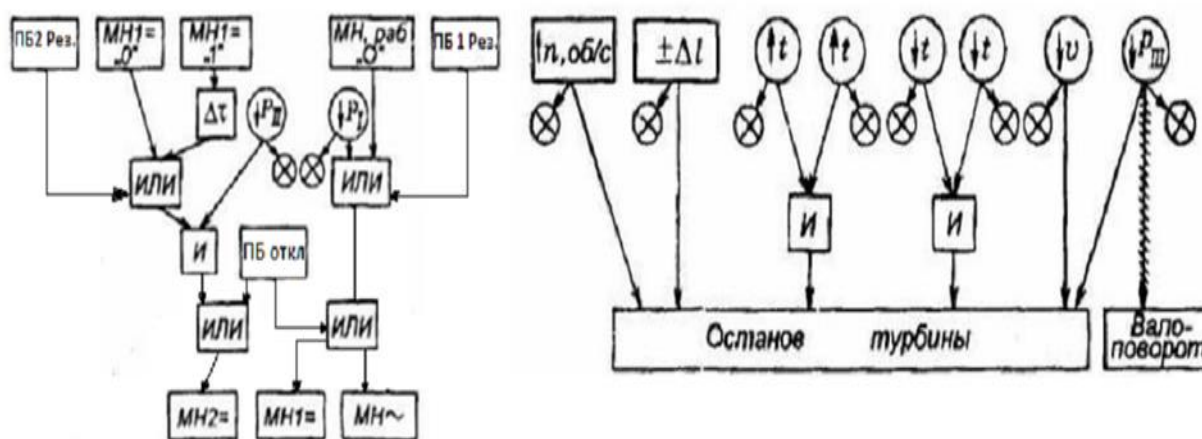


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления защит маслосистемы

Литература

1. Плетнёв Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнёв. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с., ил.
2. Рогач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Рогач. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 400 с., ил.

УДК 621.311

ПРОЕКТ БЕЛОРУССКОЙ АЭС. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Богдан Е.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н. Б.

В соответствии с государственной программой в 2018 году вводится в эксплуатацию первый блок Белорусской АЭС мощностью 1195 МВт. БелАЭС – результат эволюционного развития наиболее распространенного и технически совершенного типа станций – АЭС с ВВЭР. Ближайший аналог – Ленинградская АЭС, строящаяся по серийному проекту. В качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов в реакторе используется "легкая" (обычная) вода. Основные технико-экономические показатели проекта Белорусской АЭС приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели

Показатели	Планируемая величина
Срок службы энергоблока, лет	50
Установленная номинальная мощность энергоблока, МВт (эл.)	1194
Коэффициент полезного действия, % брутто нетто	37,17 34,51
Расход электроэнергии на собственные нужды, %	7,15
Коэффициент готовности	0,92
Среднегодовой отпуск электроэнергии от одного блока при работе АЭС в базовом режиме без отпуска теплоты, млн кВт·ч	8517,8

Каждый энергоблок оснащен реакторной установкой В-491 с водо-водяным энергетическим реактором с водой под давлением, а также турбиной К-1200-6,8/50 (число оборотов 3000 об/мин) с генератором переменного тока ТЗВ-1200-2УЗ электрической мощностью не менее 1195 МВт. Тепловая схема – двухконтурная. В составе энергоблока АЭС работа РУ предусматривается в базовом режиме и в режимах маневрирования. Реакторная установка включает следующее основное оборудование и системы:

- водо-водяной энергетический реактор корпусного типа номинальной тепловой мощностью 3200 МВт под давлением теплоносителя 16,2 МПа. Теплоносителем и замедлителем является вода с борной кислотой, концентрация которой изменяется в процессе эксплуатации. В качестве топлива в активной зоне реактора используется слабо обогащенный диоксид урана;

- четыре горизонтальных парогенератора типа ПГВ-1000МКП с разреженной коридорной компоновкой теплообменных труб в трубном пучке, производительность каждого 1602 ± 112 т/ч сухого насыщенного пара под давлением 7,0 МПа;

- четыре главных циркуляционных насоса типа ГЦНА-1391;
- главные циркуляционные трубопроводы Ду 850;
- систему компенсации давления;
- оборудование бетонной шахты реактора;
- системы безопасности.

Второй контур – не радиоактивный, состоит из паропроизводительной части парогенераторов, главных паропроводов, одного турбоагрегата, вспомогательного

оборудования и обслуживающих систем, оборудования деаэрации, подогрева и подачи питательной воды в парогенераторы.

Технологическое оборудование, примененное в проекте, имеет многолетний положительный опыт эксплуатации на АЭС, построенных по российским проектам. Обеспечение радиационной безопасности организуется и осуществляется для предотвращения недопустимого воздействия источников ионизирующего излучения на персонал, население и окружающую среду в районе размещения АЭС. При прекращении подачи электроэнергии предусмотрены системы по управлению запроектными авариями, а при аварии – системы охлаждения реакторной установки, которые могут работать в течение длительного времени в автономном режиме, отводя тепло от реактора и поддерживая его в безопасном состоянии.

Проект обладает высокой степенью лицензируемости, которая основывается на критериях безопасности, содержащихся в нормативной документации, действующей в России, учитывая рекомендации МАГАТЭ, а также на использовании освоенной технологии предлагаемого оборудования, наличии прототипов, опыте сооружения и эксплуатации отечественных и зарубежных энергоблоков.

Обеспечение радиационной безопасности организуется и осуществляется для предотвращения недопустимого воздействия источников ионизирующего излучения на персонал, население и окружающую среду в районе размещения станции. В основу обеспечения безопасности в проекте АЭС заложен принцип глубокоэшелонированной защиты – применение системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду, системы технических и организационных мер по сохранению барьеров и их эффективности, защите населения. Для АЭС с реакторами ВВЭР такими барьерами являются:

- топливная матрица;
- герметичные оболочки твэлов;
- границы контура теплоносителя, охлаждающего активную зону реактора;
- герметичное ограждение помещений, внутри которых находится оборудование и трубопроводы реакторной установки.

Системы безопасности состоят из четырех независимых каналов. Мощность, быстрота действия и другие характеристики каждого из них выбраны из условий обеспечения безопасности при любых исходных событиях, рассматриваемых в проекте. В случае возникновения нештатных ситуаций системы безопасности обеспечат безвредный останов и расхолаживание Белорусской АЭС.

Литература

1. Богдан Е.В., Карницкий Н.Б. Особенности инновационного проекта Белорусской АЭС. XI МНТК «Энергия-20162». Сборник докладов. – Иваново, 2016.
2. Дмитриев С.М., Зверев Д.Л., Бых О.А. и др. Основное оборудование АЭС. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 288 с.

УДК 621.039.5

МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕЙТРОННОЙ МОЩНОСТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Будревич Н.В., Пташиц К.П., Чебаевская А.М.

Научные руководители – д.т.н., профессор Кулаков Г. Т., к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Основной проблемой при строительстве АЭС является обеспечение безопасности, надежности и экономичности станций, в качестве одного из важнейших мероприятий в решении данной проблемы следует назвать дальнейшее повышение уровня автоматизации и совершенствования систем контроля и управления АЭС.

Целью работы является оптимизация динамической настройки типовой САР регулирования нейтронной мощности реактора и модернизации ее на основе методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем.

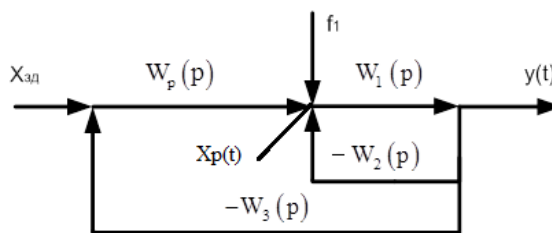


Рисунок 1 – Структурная схема типовой САР нейтронной мощности реактора

Здесь: $y(t)$ – относительное отклонение нейтронной мощности от $x_{зд}$;

$x_{зд}$ – заданное значение регулируемого параметра;

$f_1(t)$ – внутреннее возмущение;

$x_p(t)$ – регулирующее воздействие;

$$W_1(p) = \frac{1}{T_1^2 p + 2T_1 \cdot \xi \cdot p + 1} \text{ – передаточная функция кинетики нейтронов;} \quad (1)$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1} \text{ – передаточная функция температурной обратной связи;} \quad (2)$$

$$W_3(p) = e^{-\tau_y p} \text{ – передаточная функция запаздывания главной обратной связи;} \quad (3)$$

W_p – передаточная функция регулятора.

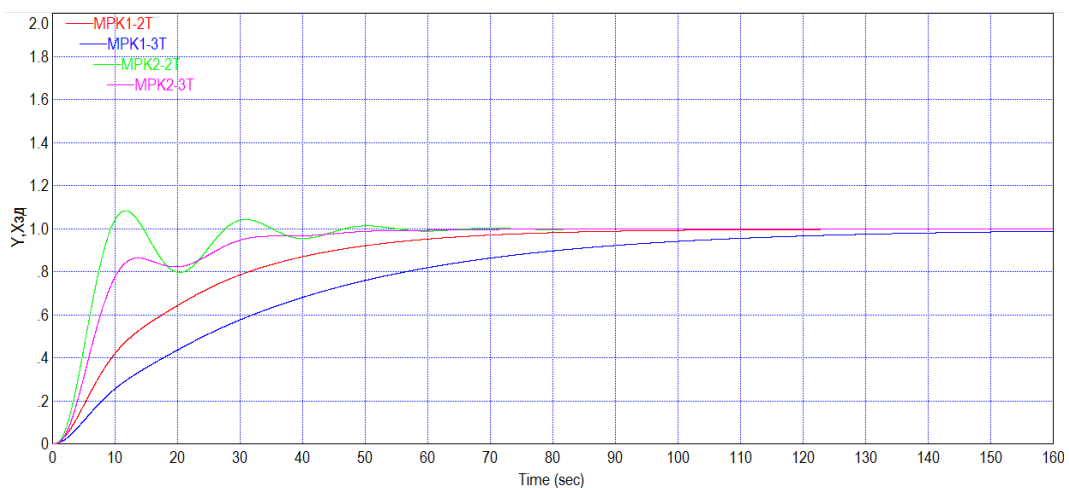


Рисунок 2 – Отработка скачка задания основной САР

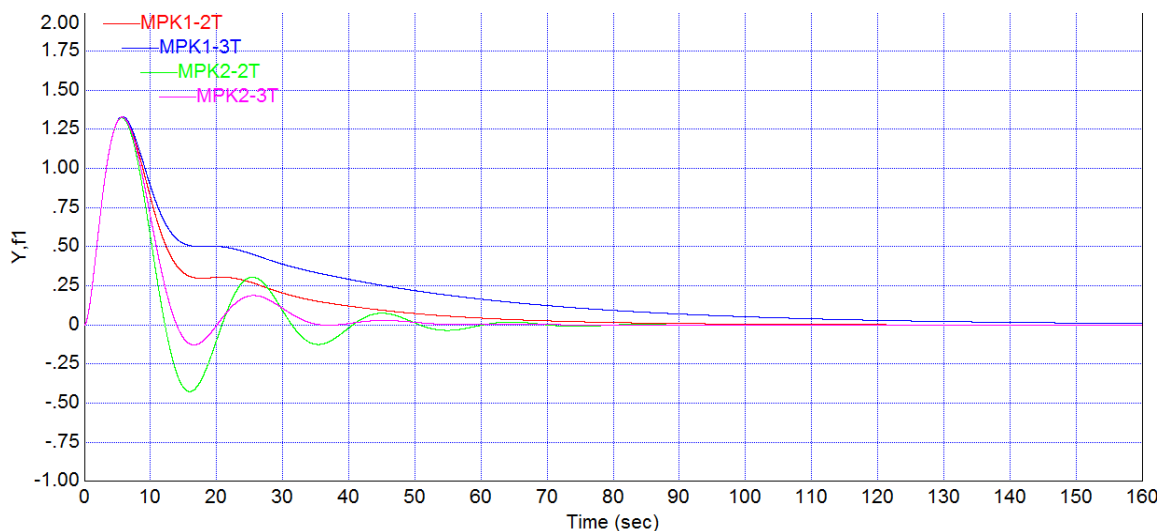


Рисунок 3 – Отработка внутреннего возмущения основной САР

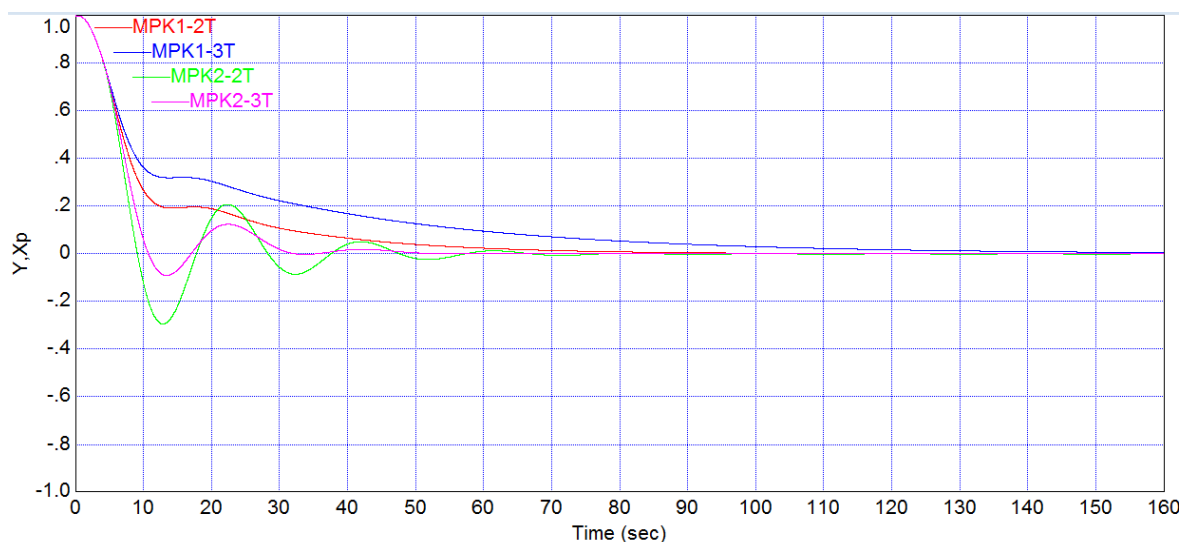


Рисунок 4 – Регулирующее воздействие основной САР

Выводы

- 1) Наилучшим оказался метод МПК-1. Отработка скачка задания происходит без перерегулирования с максимальным временем регулирования 125 с.
- 2) Максимальная динамическая ошибка при отработке внутреннего возмущения составила 1,30.
- 3) Регулирующее воздействие при отработке внутреннего возмущения превышает $\pm 2\%$.

Для ядерного реактора наиболее опасным считается внутреннее возмущение, поэтому для уменьшения максимальной динамической ошибки регулирования при отработке ошибки внутреннего возмущения примем принцип инвариантности, совместно с методом структурно-параметрической оптимизации регулятора. Для чего дополнительно устанавливают датчик измерения внутреннего возмущения f_1 , выход которого подается на вход устройства компенсации, а выход устройства компенсации, с противоположным знаком, подключаем на вход основного регулятора, структура которого соответствует передаточной функции оптимального регулятора.

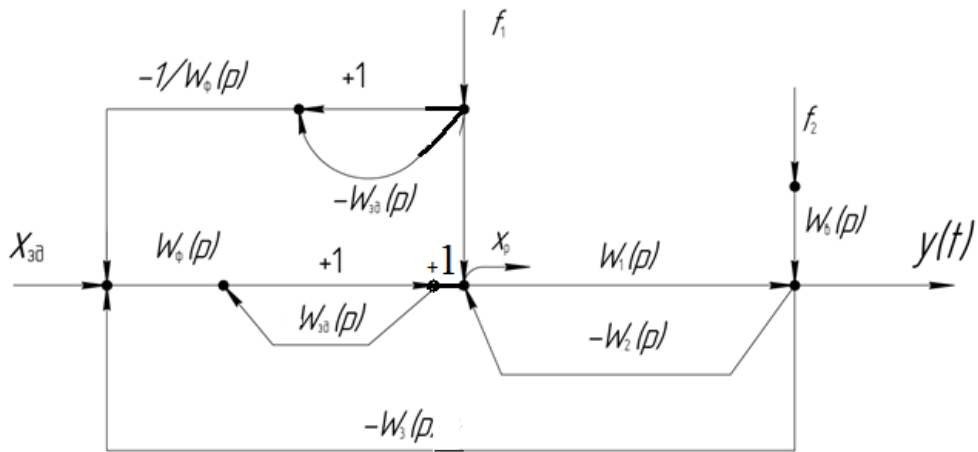


Рисунок 5 – Структурная схема моделирования инвариантной САР нейтронной мощностью ядерного реактора

Передаточную функцию оптимального регулятора представим в виде:

$$W_p^{opt}(p) = W_\Phi(p) \frac{1}{1 - W_{зд}(p)}, \tag{4}$$

где $W_\Phi(p) = \frac{W_{зд}(p)}{W_{экв}(p)}$ – передаточная функция фильтра; $W_{зд}(p)$ – задание передаточной функции системы при отработке скачка задания.

Передаточная функция эквивалентного объекта с учетом передаточных функций (1), (2) и (3) записывается в виде:

$$W_{экв}(p) = \frac{b_0(T_2 p + 1) e^{-T_y p}}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \tag{6}$$

$$W_{зд}(p) = \frac{e^{-T_y p}}{(T_{зд} p + 1)^2} \tag{7}$$

С учетом (6) и (7) передаточную функцию фильтра запишем в виде:

$$W_\Phi(p) = \frac{(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1)}{(T_{зд} p + 1)^2 b_0 (T_2 p + 1)} \tag{8}$$

Передаточная функция устройства компенсации находится из следующего условия инвариантности:

$$W_{ук}^{f_1}(p) W_p^{opt}(p) = 1, \tag{9}$$

откуда

$$W_{ук}^{f_1}(p) = \frac{1}{W_p^{opt}(p)} = \frac{1}{W_\Phi(p)} (1 - W_{зд}(p)) \tag{10}$$

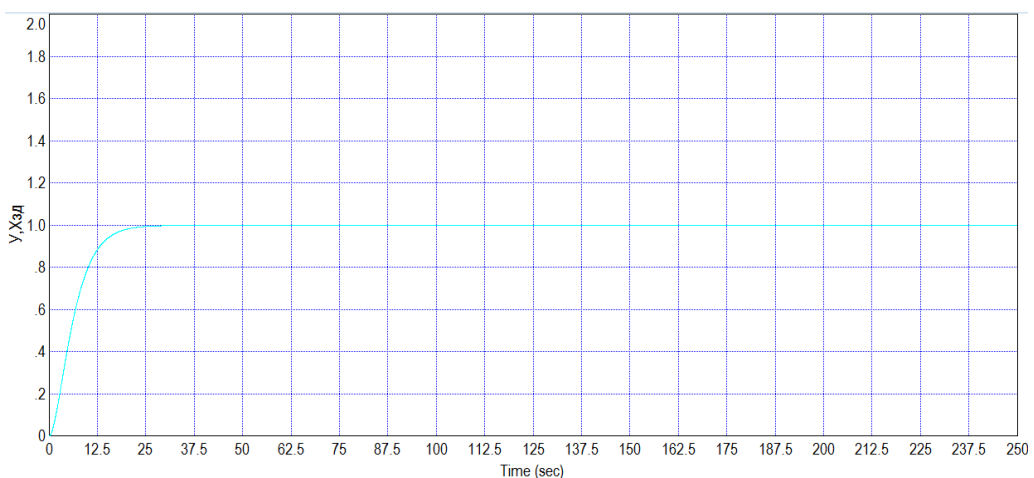


Рисунок 6 – Отработка скачка задания инвариантной САР

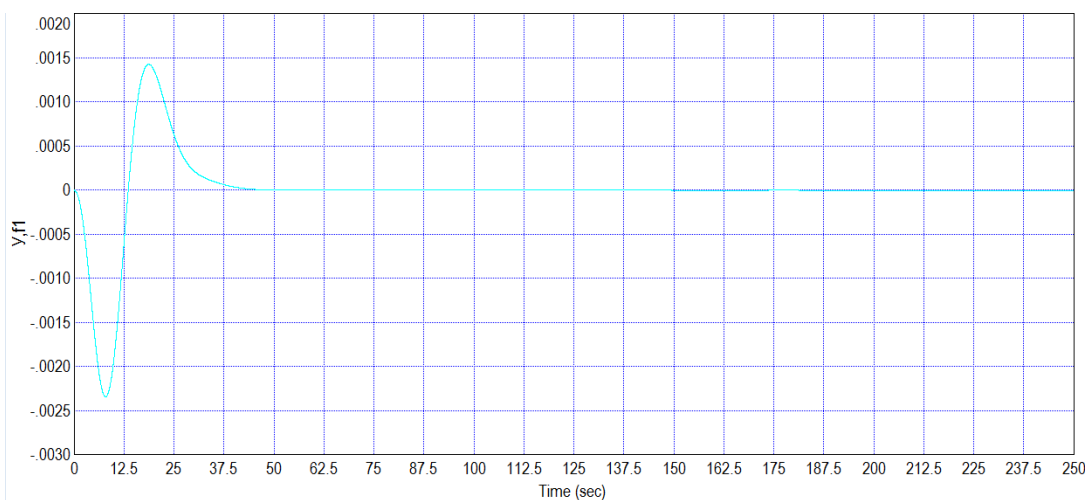


Рисунок 7 – Оработка внутреннего возмущения инвариантной САР

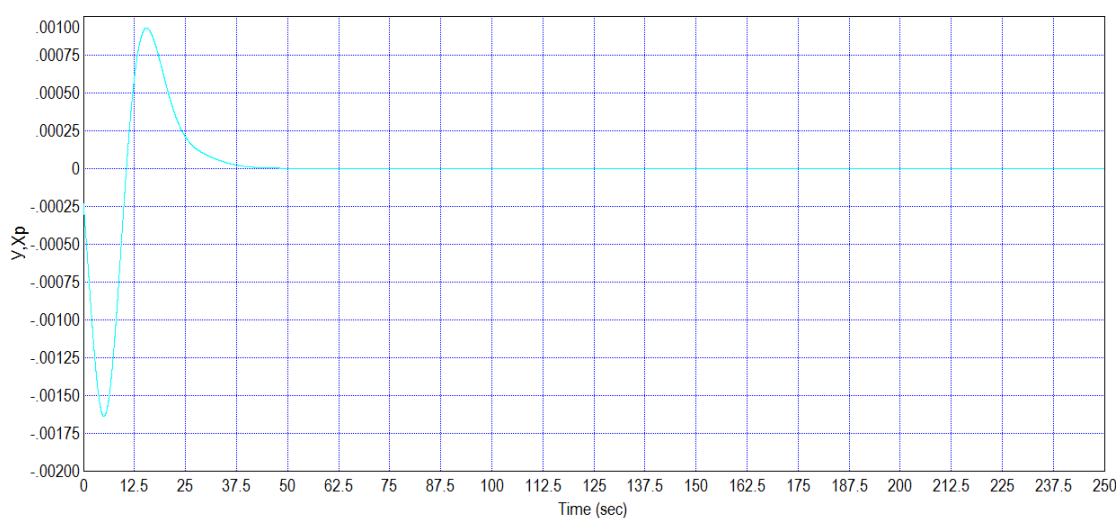


Рисунок 8 – Регулирующее воздействие инвариантной САР

Выводы

Применение методов структурно-параметрической оптимизации САР с использованием принципа инвариантности позволило получить следующие результаты:

- 1) Оработка скачка задания происходит без перерегулирования с наименьшим временем регулирования 20 с, что по сравнению с основной САР меньше в 6,25 раз.
- 2) При отработке внутреннего возмущения наблюдается практически абсолютная инвариантность.
- 3) Регулирующее воздействие при скачке внутреннего возмущения не превышает $\pm 0,2\%$.

Литература

1. Демченко, В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В.А. Демченко. – Одесса: Астроиздат, 2001. – 305 с.
2. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГТУ, 2010. – 574 с.
3. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
4. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.

УДК 621.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ПГУ СПОСОБОВ ВПРЫСКА В ГАЗОВЫЙ ТРАКТ

Воронцов А.А.

Научные руководители – старший преподаватель Романко В.А., ассистент Павловская А.А.

Контактные парогазовые установки со встроенным в газовую турбину паросиловым циклом

Цикл комбинированной парогазовой установки с утилизацией теплоты сбросных газов без использования паровой турбины и дополнительного электрогенератора появился еще в конце 80-х годов прошлого века. В этом случае пар, генерируемый в котле-утилизаторе (КУ), подается в проточную часть ГТД.

Принципиальная схема установки, работающая по такому циклу, названному STIG или ISTIG (при наличии промежуточного охлаждения воздуха в компрессоре), приведена на рисунке 1.

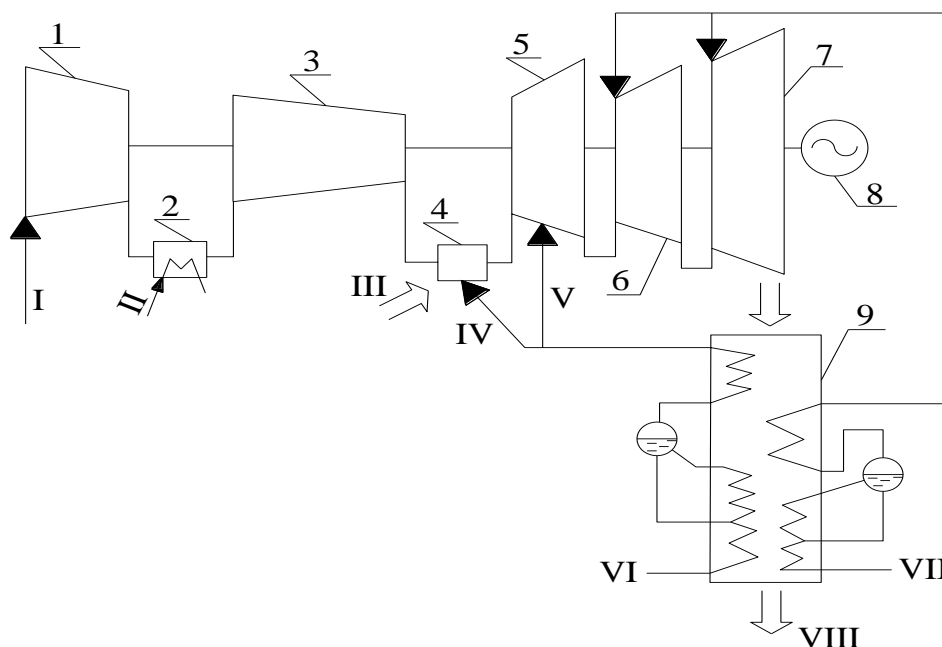


Рисунок 1 – Принципиальная схема высокотемпературной ПГУ с впрыском пара, работающей по циклу STIG (ISTIG):

1 – компрессор низкого давления; 2 – промежуточный охладитель; 3 – компрессор высокого давления; 4 – камера сгорания; 5 – турбина высокого давления; 6 – турбина низкого давления; 7 – силовая турбина; 8 – генератор; 9 – котел-утилизатор; I – воздух; II – вода; III – топливо; IV – пар на впрыск; V – охлаждающий пар; VI – питательная вода высокого давления; VII – питательная вода низкого давления; VIII – выхлоп в атмосферу;

В цикле STIG, в зависимости от величины модернизации проточной части, мощность может быть увеличена в 1,5–2,0 раза по сравнению с базовым двигателем.

Большее увеличение мощности в цикле STIG по сравнению с обычным циклом STU (комбинированный цикл, основанный на использовании паровой турбины) вызвано способностью цикла STIG утилизировать не только генерируемый пар, но также сжигать дополнительное топливо. Впрыск перегретого пара в камеру сгорания вызывает снижение температуры в камере сгорания, а так как двигатель изначально рассчитан на более высокую температуру, поэтому возможно сжигать дополнительное топливо, как дополнительный источник увеличения мощности.

Это справедливо для случая использования в цикле STIG газотурбинного двигателя с достаточно высокими параметрами – температурой газа за камерой сгорания 1100–1300 °С и соответствующей такой температуре оптимальной степени сжатия в компрессоре ГТД 17-25, которая обеспечивает температуру воздуха на входе в камеру сгорания 450–550 °С.

Впрыск из котла-утилизатора всего перегретого пара с температурой 350–390 °С в камеру сгорания ГТД приводит к увеличению количества рабочего тела примерно на 12 %. Поэтому поддержание, за счет увеличения расхода топлива в камере сгорания, прежней начальной температуры теперь уже парогазовой смеси приводит к существенному увеличению мощности турбины. Увеличению мощности турбины способствует более высокая теплоемкость и газовая постоянная перегретого пара по сравнению с продуктами сгорания ГТД простого цикла.

Чтобы модернизировать двигатель простого цикла в цикл STIG необходимо увеличить эквивалентную проходную площадь проточной части турбин (или турбины) с целью сохранения точки согласованной работы на характеристике компрессоров (или компрессора) в том же месте, что и при работе двигателя по простому циклу. Поэтому ГТД конвертированный в цикл STIG имеет худший КПД простого цикла (без впрыска пара), чем не конвертированный ГТД в цикле STU. Эта конвертация сказывается ухудшением параметров установки в случае необходимости останова КУ. Однако эта особенность не является определяющей, так как работу с остановленным утилизационным котлом (без впрыска пара) необходимо рассматривать как аварийный режим, при котором все-таки обеспечивается частичная выработка электроэнергии, хотя и с худшим КПД. Скорее это свидетельствует о высокой живучести такой схемы, при которой электростанция способна работать с отключенным котлом-утилизатором.

Оба цикла STU и STIG имеют меньшее падение мощности от увеличения температуры окружающего воздуха, чем установка простого цикла. В случае наличия дополнительного источника пара цикл STIG может работать с постоянной мощностью вне зависимости от изменения окружающей температуры.

Для получения дополнительного пара наиболее рационально воспользоваться дополнительной камерой сгорания после ГТД (перед котлом-утилизатором).

Возможность дожигания топлива в выхлопном тракте ГТД связано с наличием достаточного количества воздуха в газах после газотурбинного двигателя, коэффициент избытка воздуха в которых составляет 2,5–4,5.

Недостатком цикла STIG является необходимость иметь большой источник пресной воды для генерации пара. Потери воды в цикле STIG равняются производительности КУ и могут составлять 0,9–1,5 тонн пресной воды на МВт×час выработанной электроэнергии.

Литература

1. Романов, В.И. Новый газотурбинный двигатель мощностью 110 МВт для стационарных энергетических установок / В.И. Романов, С.В. Рудометов, О.Г. Жирицкий, В.В. Романов // Теплоэнергетика. – 1992. – №9. – С. 15–21.
2. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под редакцией В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 624 с., ил.

УДК 621.311.22+621.311.25

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОСЕВОГО КАНАЛА РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Евдосюк Д.С.

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

В условиях резкого возрастания стоимости модернизации, особенно изготовления нового турбинного оборудования, и с учетом того, что ряд турбин находится во вполне удовлетворительном состоянии, весьма актуальной стала проблема уточненного расчетного анализа возможности дальнейшего продления индивидуального ресурса турбин этого типа в зависимости от фактического состояния металла, динамики повреждаемости [1].

Роторы паровых турбин являются ответственными элементами, определяющими, по существу, ресурс паровой турбины. Условия их эксплуатации – высокий уровень температур и напряжений, обуславливают характер протекания процессов ползучести и малоциклового усталости.

Ротор паровой турбины – это вращающаяся часть турбины, основная задача которой – преобразовать кинетическую энергию пара в механическую энергию вращающегося ротора, которая в свою очередь преобразуется в генераторе в электрическую энергию. Ротор является главной частью турбины. Поэтому контроль и диагностика ротора выполняет такие функции как проверка надёжности ротора и продление срока службы (что в свою очередь определяет экономичность установки).

Анализ данных длительной эксплуатации роторов с учетом особенностей работы уплотнений и исследование их термонапряженного состояния позволяют выявить в них зоны, представляющие наибольшую опасность из-за вероятного образования эксплуатационных трещин. К этим зонам относятся [1]:

- зона осевого канала под высокотемпературными ступенями;
- терморазгрузочные канавки и радиусные переходы;
- ободы дисков высокотемпературных ступеней в местах крепления замковых;
- галтели дисков высокотемпературных ступеней;
- радиусы скругления пароразгрузочных отверстий в дисках.

Зоны вероятного образования эксплуатационных трещин в высокотемпературных ступенях цельнокованых роторов турбин показаны на рисунке 1.

Осевой канал ротора турбины предназначен для снятия эксплуатационных напряжений с турбины. Также осевой канал является основным местом проведения контроля ротора. Наиболее опасные дефекты, выявляемые в области осевого канала, – это дефекты, ориентированные вдоль оси ротора. Кольцевые дефекты могут появиться в исключительных случаях. Наиболее вероятно их присутствие в случае, когда, зародившись на наружной поверхности по механизму усталости, трещина развивается и доходит до осевого канала [2]. Эксплуатационные напряжения в этой зоне приводят к образованию трещин, ориентированных в радиально осевой плоскости ротора. Такое

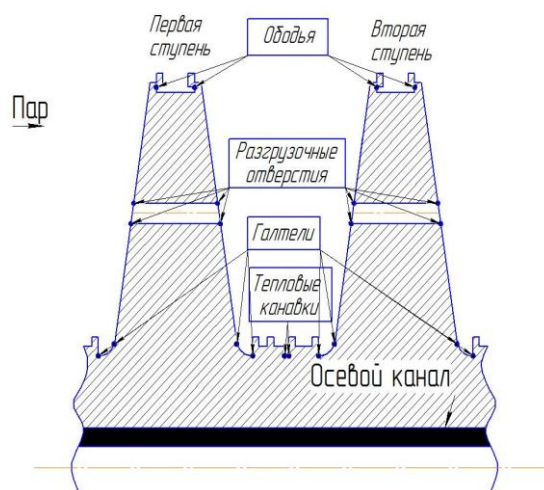


Рисунок 1 – Зоны вероятного образования эксплуатационных трещин в высокотемпературных ступенях цельнокованых роторов турбин

расположение дефектов не сказывается на изменении вибрационных характеристик валопровода и наличие дефекта может оставаться незамеченным при его увеличении до критического размера, после чего становится вероятным хрупкое (лавинообразное) разрушение ротора. Кроме того, металлургические дефекты, часто встречающиеся в крупных поковках, также ориентированы в этом направлении и представляют собой уязвимые места для зарождения в них эксплуатационных трещин.

Одним из основных методов неразрушающего контроля, применяемых для оценки состояния осевого канала ротора, является ультразвуковой метод контроля (УЗК). Ультразвуковой контроль является частным случаем акустического контроля, ввиду этого методы и технологии акустического и ультразвукового контроля совпадают. Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователей и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы, вида, глубины залегания и пр.

Ультразвуковой контроль проводится в диапазоне частот упругих колебаний от 20 кГц до 2 ГГц. Интенсивность колебаний обычно не велика: не превышает 1 кВт/м². К акустическим свойствам сред относят скорость распространения волны, коэффициент затухания и удельное волновое сопротивление (характеристический импеданс). В твердом теле эти величины определяют для продольных и поперечных волн [3].

Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Так, например, по времени распространения ультразвука в изделии (если известна скорость ультразвука, скорость распространения ультразвуковых волн в различных материалах) в данном металле определяют расстояние до дефекта, а по амплитуде отраженного импульса – его относительный размер.

К главным преимуществам ультразвукового контроля относятся:

- высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
- безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
- высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
- возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, т.е. на время проведения УЗК не требуется выведения объекта контроля из эксплуатации;
- при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается;

Среди недостатков ультразвукового контроля выделяют следующие:

- при ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, т.к. размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер дефекта. Трудности при ультразвуковом контроле металлов с крупнозернистой структурой, из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука;

– необходимость тщательной подготовки контролируемой поверхности и нанесение контактных жидкостей для обеспечения стабильного акустического контакта [3].

Ультразвуковой контроль наряду с другими физическими методами (рентгенографический контроль, капиллярный контроль, магнитно-порошковый контроль) является надежным и высокоэффективным средством для выявления возможных дефектов. Требуется наличие специально подготовленных специалистов, специализированного оборудования и вспомогательных средств контроля, и, кроме того, предъявляет особые требования к подготовке поверхности изделия под контроль [4].

Для проведения УЗК ротора в условиях электростанции необходимо демонтировать ротор и обеспечить свободный доступ к полости осевого канала.

Для УЗК используют следующее оборудование:

1. Испытательные образцы.

2. Отраслевые стандартные образцы – стандартный образец предприятия (СОП).
3. Специальные ПЭП.
4. Радиочастотный кабель (длина 8–16 м), снабженный специальным герметичным электрическим разъемом для присоединения к ПЭП и соответствующим разъемом для присоединения к электронному блоку дефектоскопа.
5. Электронный блок серийного дефектоскопа. Рекомендуется применять дефектоскопы типа УД2-12. Допускается использовать другие серийные дефектоскопы, если они находятся в исправном состоянии и удовлетворяют требованиям настоящей Инструкции.
6. Механизмы (или приспособления) для ориентации и перемещения ПЭП в канале ротора.

Спецоснастка (пробки и козлы для ротора, подставки для дефектоскопов, ведро и лейки для иммерсионной жидкости, настил с ограждениями для дефектоскопистов).

В настоящее время действуют два утвержденных альтернативных метода УЗК ротора со стороны осевого канала [2]: иммерсионный и контактный.

Иммерсионный вариант УЗК реализуют с помощью специального координатного механизма, показанного на рисунке 2.

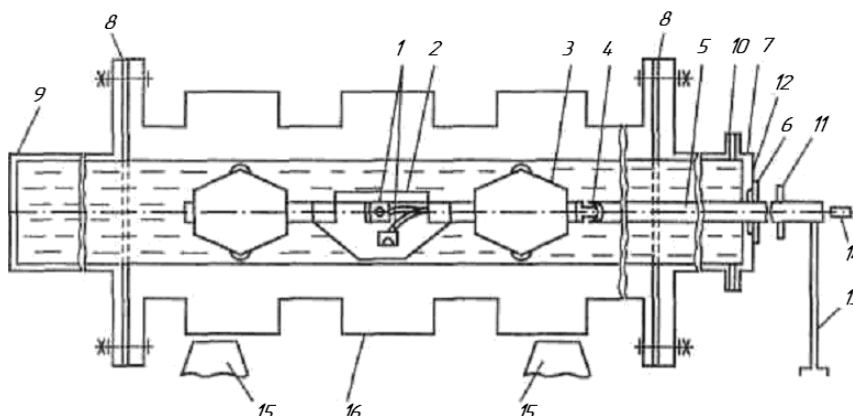


Рисунок 2 – Общий вид устройства для ультразвукового контроля ротора иммерсионным методом: 1 – пьезоэлектродпреобразователь; 2 – каретка; 3 – центратор; 4 – шарнир; 5 – штанга; 6 – резиновая манжета; 7 – проходное доньшко; 8 – резиновые прокладки; 9 – глухое доньшко; 10 – патрубок; 11 – рукоятка подачи; 12 – азимутальный диск; 13 – тренога; 14 – кабель к дефектоскопам; 15 – опоры; 16 – ротор

Контактный вариант реализуют с помощью призматических ПЭП, перемещаемых в канале ротора с помощью ориентирующей рамки и легкой трубы диаметром 18–25 мм рисунок 3.

Для создания акустического контакта ПЭП с металлом ротора применяют дегазированные жидкости (водопроводную воду или минеральное масло, например, турбинное). Для дегазации жидкости ее надо выдержать в открытом сосуде не менее 8 ч при комнатной температуре.

При иммерсионном методе ПЭП погружают в контактную жидкость, которая заполняет осевой канал ротора. В качестве пьезоэлемента ПЭП используют пьезопластину, например, из цирконата-титаната свинца ЦТС-19 диаметром 12 мм, непосредственно соприкасающуюся своей рабочей поверхностью с водой. Частота ультразвуковых колебаний 2,5 МГц.

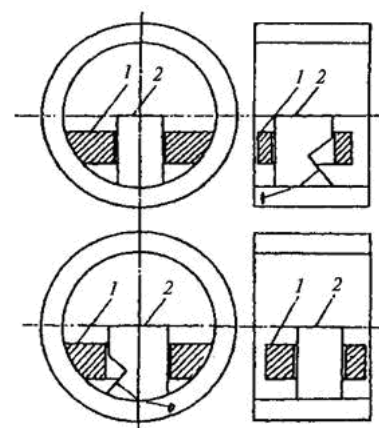


Рисунок 3 – Схема контактного метода контроля ротора при вводе ультразвука в осевой (а) и азимутальной (б) плоскостях: 1 – ориентирующее устройство; 2 – ПЭП

Иммерсионный метод предусматривает использование двух каналов обнаружения. Канал I предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных вдоль оси ротора. В этом случае пьезопластину смещают относительно осевой линии ротора параллельно осевой плоскости, а ультразвуковые волны распространяются в азимутальной плоскости (перпендикулярно оси ротора). Канал II предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных поперек оси ротора. Угол ввода ультразвуковых волн, распространяющихся в осевой плоскости ротора, должен составлять $60^{\circ} \pm 30'$. Для проведения иммерсионного метода контроля используют приспособления, предназначенные для перемещения и ориентации ПЭП в осевом канале ротора и уплотнения осевого канала при заполнении его водой [3].

При контактном методе применяют наклонные ультразвуковые ПЭП, снабженные приспособлениями для их ориентации и перемещения в осевом канале ротора. Частота ультразвуковых колебаний – 2,5 МГц, диаметр пьезопластины – 12 мм, угол призмы – $46^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (угол ввода – 60°) и $56^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (ввод поверхностных и поперечных волн под углом $60-90^{\circ}$). Для подключения ПЭП применяется высокочастотный кабель длиной 8–14 м [4].

В настоящее время для контроля осевого канала ротора применяются автоматизированные комплексы, например, «РОТОР-К», разработанный в УралВТИ. Аппаратура, входящая в состав комплекса, обеспечивает выявление, регистрацию местоположения и параметров дефектов в соответствии с требованиями СО 153-34.17.440-2003 как в поверхностном слое, так и в толще металла, оценку остаточной деформации ползучести [5].

«РОТОР-К» состоит из транспортного механизма (ТМ) и сменных сканирующих модулей (СМ); блока управления и преобразования (БУП); ноутбука со специальным программным обеспечением. Программа посылает команды в БУП, обеспечивает позиционирование ТМ и СМ и принимает оцифрованные информационные сигналы с первичных преобразователей (ПП). БУП содержит блок питания, блок микроконтроллера, блок вихретокового дефектоскопа, ультразвуковой коммутатор и силовые блоки управления шаговыми двигателями ТМ и СМ. ТМ обеспечивает перемещение сканирующего модуля внутри осевого канала на заданное расстояние. СМ осуществляют сканирование поверхности осевого канала чувствительными ПП. Комбинация аксиального и радиального перемещений дает возможность проконтролировать 100 % поверхности осевого канала ротора.

Ультразвуковой контроль осуществляется в иммерсионном варианте ввода ультразвука. Сканирующий модуль УЗК содержит 2 пары ПЭП установленных в специальных каретках для прозвучивания металла ротора по схеме «тандем». Возможность варьировать базу тандема позволяет оператору «заложить» требуемый порог чувствительности к глубине трещин и надежно выявлять трещины, которые развиваются с наружной поверхности ротора.

Литература

1. Волков Б.И. Автоматизированная компьютерная система «РОТОР-К» для диагностики роторов турбин со стороны осевого канала/ Б.И. Волков, В.В. Прохоров, К.М. Бондарь // Сборник докладов всероссийской конференции «Реконструкция энергетики-2009» <http://www.intecheco.ru/energo/>.
2. Герасимова А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС / А.Г. Герасимова. – Минск: Выш. шк., 2011. –272 с.
3. Резинских В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин / В.Ф. Резинских, В.И. Гладштейн, Г.В. Авруцкий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 296 с.
4. СО 153-34.17.440-2003. Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса. М., 2008.
5. Сухинин, В.П. Ресурс паровой турбины. / В.П. Сухинин, Т.Н. Пугачева // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування №11. – Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – С.132–138.

УДК 662.613.5:661.98

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ПУТЕМ ВПРЫСКА ВЛАГИ В ЗОНУ ГОРЕНИЯ

Зозуля С.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

В работах отечественных и зарубежных исследователей, посвященных разработке различных методов снижения образования оксидов азота при сжигании газообразных и жидких топлив, установлено, что ввод влаги в виде пара или воды в топочную камеру наиболее радикальное и простое средство достижения данной цели. Анализ и обобщение проведенных работ в этой области позволили сделать два основных вывода: методы ввода влаги в камеру могут отличаться друг от друга конструктивным исполнением, агрегатным состоянием влаги, методом ее распыливания и смешения с топливом или горючей смесью; эффект снижения выхода оксидов азота для разных методов ввода влаги различен.

Опыты производились на котлах разных типов паропроизводительностью 250–1000 т/ч при сжигании различных газообразных и жидких топлив. Как показали эксперименты на котле ТГМ-94, наиболее эффективен в отношении снижения концентрации оксидов азота впрыск влаги в зону максимального тепловыделения в количестве до 7–10 % массы топлива ($g = 0,07–0,10$). Дальнейшее увеличение g сравнительно мало влияет на C_{NOx} . Впрыск того же количества влаги за пределами зоны максимального тепловыделения оказывается менее эффективным.

Ввод рециркулируемых газов на котле ПК-10, ТГМ-94, ТГМП-114 и ТГМП-314 не оказывает существенного влияния на эффективность впрыска влаги при сжигании газа и мазута, но требует для достижения того же эффекта либо угрубления дисперсности распыленной воды, либо увеличения относительной высоты водяных аппаратов.

На котлах с различными компоновками горелок разных конструкций получены результаты по эффективности впрыска. Установлено, что впрыск 10 % влаги, как правило, приводит к снижению концентрации оксидов азота на 25–30 % при полной нагрузке, а на каждый процент снижения нагрузки эффект уменьшается приблизительно на один процент. При сжигании газа и мазута получены близкие эффекты по снижению C_{NOx} .

Концентрация сажи и бенз(а)пирена уменьшаются при вводе влаги в топку во всех случаях. Наибольший эффект достигнут на котле ТГМ-94 при сжигании мазута в режиме $D/D_n = 0,65$, $\alpha_r = 1,12$, $r = 0,14$, где подача воды ($g = 0,08$) привела к снижению бенз(а)пирена с 56 до 4 мкг/100 м³. На котлах ПК-10, ТГМ-94 и БКЗ-320-140 ГМ проведены исследования влияния впрыска воды на SO_3 при сжигании мазутов с различным серосодержанием. Исследования показали, что впрыск влаги не приводит к существенному изменению SO_3 , при этом низкотемпературная коррозия практически не изменяется. Длительный опыт эксплуатации на сернистом мазуте котлов ПК-41-1, ПК-10, ПК-47, ТГМП-114, ТГМП-314, ТГМ-94 с впрыском влаги в топку показали, что при прочих условиях срок службы холодных поверхностей воздухоподогревателей этих котлов не изменился.

Очень важным является вопрос о влиянии впрыска воды на экономичность котла. В тех случаях, когда влага впрыскивается в топку с отлаженным режимом горения, влияние на КПД однозначно определяется дополнительной потерей теплоты на испарение впрыскиваемой воды (около 0,06 % на 0,1 водотопливного отношения), причем влияние влаги на температуру перегретого пара или температуру уходящих газов в диапазоне $g = 0–0,1$ ни на одном из испытанных котлов не замечено. Таким образом, впрыск влаги при $g = 0,1$ приводит к снижению КПД приблизительно на 0,6 %.

Другие способы сокращения выбросов оксидов азота также вызывают снижение экономичности котлов. Сопоставление влияния впрыска воды в топку и наиболее распространенного способа подавления NO_x вводом в топку рециркулирующих газов на экономичность котла ТП-47 с подовой компоновкой трех горелок при сжигании сернистого мазута показал, что ввод 16 % рециркуляции в горелку вызывает суммарное снижение КПД «нетто» (из-за q_2 , q_3 и расхода электроэнергии на собственные нужды приблизительно на 0,9 % против 0,7 при $g=0,11-0,12$). При этом в обоих случаях снижение C_{NO_x} составляет 35–40 %. В других случаях получены аналогичные результаты.

В целом можно считать, что впрыск влаги как способ снижения C_{NO_x} на технико-экономические показатели не уступает рециркуляции газов. Поэтому выбор того или иного способа подавления C_{NO_x} в каждом конкретном случае должен определяться не только экологическими и технико-экономическими соображениями, но и технологическими возможностями котла. Например, в тех случаях, когда необходимо повышение температуры первичного или вторичного перегрева пара, предпочтение следует отдать рециркуляции газов. В других случаях, когда повышение тепловосприятости пароперегревателя недопустимо, может быть использован впрыск воды как единственный способ сокращения выбросов C_{NO_x} , не вызывающий заметного перераспределения тепловосприятости между отдельными поверхностями нагрева.

Литература

1. Окислы азота в продуктах сгорания топлив. Сборник научных трудов / Киев: Наукова думка, 1981. – 203 с.
2. Термокаталитическая очистка и снижение токсичных выбросов в атмосферу. Сборник научных трудов / Киев: Наукова думка, 1989. – 172 с.

УДК 620.92

СУПЕРМАХОВИКИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

В последнее время в энергетике все большее внимание уделяется вопросам аккумулирования энергии. В условиях предстоящего ввода АЭС и существенного увеличения базовых генерирующих мощностей в Беларуси регулирование суточного графика усложнится.

Выходом может быть применение аккумуляторов энергии, которые будут выдавать энергию при пиковых нагрузках и аккумулировать электроэнергию в другое время суток при спаде нагрузки, а также участвовать в режиме регулирования частоты в сети.

Известны различные виды аккумулирующих систем: гидро- и пневмо-аккумулирующие станции; тепловые аккумуляторы; батареи; аккумуляторы на сверхпроводниках; суперконденсаторы и пр.

До последнего времени практически единственным приемлемым типом аккумулирования энергии считались гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), которые используются с начала XX века. В часы минимальной нагрузки системы агрегаты ГАЭС работают в насосном режиме, перекачивая воду из нижнего водохранилища в верхнее, а в часы максимальной нагрузки системы они работают в турбинном режиме, сбрасывая воду из верхнего водохранилища и вырабатывая тем самым дополнительную электроэнергию для покрытия пиковых нагрузок. Недостатки ГАЭС: большие капиталовложения, затопление больших территорий и вредное воздействие на природные экосистемы, необходимость в большой разности высот водохранилищ, относительно низкие КПД гидродожима и выработки электроэнергии.

В последнее время многие фирмы, такие как *Siemens* (Германия), *Urenco Power Technologies* (Великобритания), *Beacon Power* (США) проводят исследования сравнительно нового вида аккумуляторов энергии: супермаховиков [1, 2]. При этом используется накопленный этими фирмами опыт в области высокооборотных центрифуг для ообгащения урана. По такому показателю, как удельная емкость энергии (кВт·ч/кг) супермаховики вышли на первое место. При этом их срок службы намного больше, чем, например, у батарей.

Например, в Исследовательском центре имени Гленна и Космическом центре Джонсона создана маховичная энергетическая установка для международной космической станции (МКС), заметно превосходящая использовавшиеся ранее никель-водородные аккумуляторы. Маховики могут запасать 5,5 кВт·ч энергии против 4,6 кВт·ч у электрохимических аккумуляторов, при этом срок их службы оценивается в 15 лет, а батарей – в 5–6 лет [2]. С июля 2000 г. *Siemens* испытывает на одной из действующих линий трамвая в Кёльне длиной 20 км опытный высокооборотный инерционный аккумулятор энергии мощностью 600 кВт [2].

Супермаховик способен запасать больше энергии на единицу массы (5–15 МДж/кг или 1.4–4.17 кВт·ч/кг), чем все известные накопители энергии – электрохимические аккумуляторы, конденсаторы, пружины и пр. Это объясняется тем, что супермаховик можно разогнать до огромных скоростей, причём «зарядка» такого накопителя происходит очень быстро [1].

По данным исследований *Beacon Power* потеря энергии, закачанной и позднее забранной из этих накопителей, составляет 2 %, что заметно лучше, чем у систем хранения энергии, основанных на иных принципах (химические аккумуляторы, ГАЭС).

Компания *Active Power* выпускает накопители *CleanSource*, в которых маховики объединены с мотором/генератором в один агрегат [1]. Компания *Active Power* подписала

OEM соглашение с *GE* в декабре 2005 года на внедрению маховиков в источники бесперебойного питания, выпускаемые *GE*.

Накопители энергии на базе маховиков обладают рядом существенных преимуществ перед химическими аккумуляторами: они более компактны, могут работать в широком диапазоне температур, чрезвычайно надежны и не требуют ремонта в течение 15–20-летнего срока эксплуатации, имеют более высокий КПД [1].

Для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме и участия в общем, первичном регулировании частоты (ОПРЧ) сети *Beacon Power* предлагает применять целые кластеры маховичных накопителей с соответствующей управляющей электроникой, которые обладают высокой пиковой мощностью и могут очень быстро реагировать на скачки частоты в подключённой к ним сети [3].

Этот проект *Beacon Power*, названный *Smart Energy Matrix*, будет представлять собой 18-тонный контейнер, содержащий 10 маховичных накопителей *Smart Energy 25*, с продолжительной суммарной мощностью в 1 МВт (на короткое время в несколько минут – до 2 МВт), и с накапливаемой энергией – до 250 кВт·ч (рисунок 1). Время реакции системы на изменение частоты сети – порядка 5 миллисекунд.

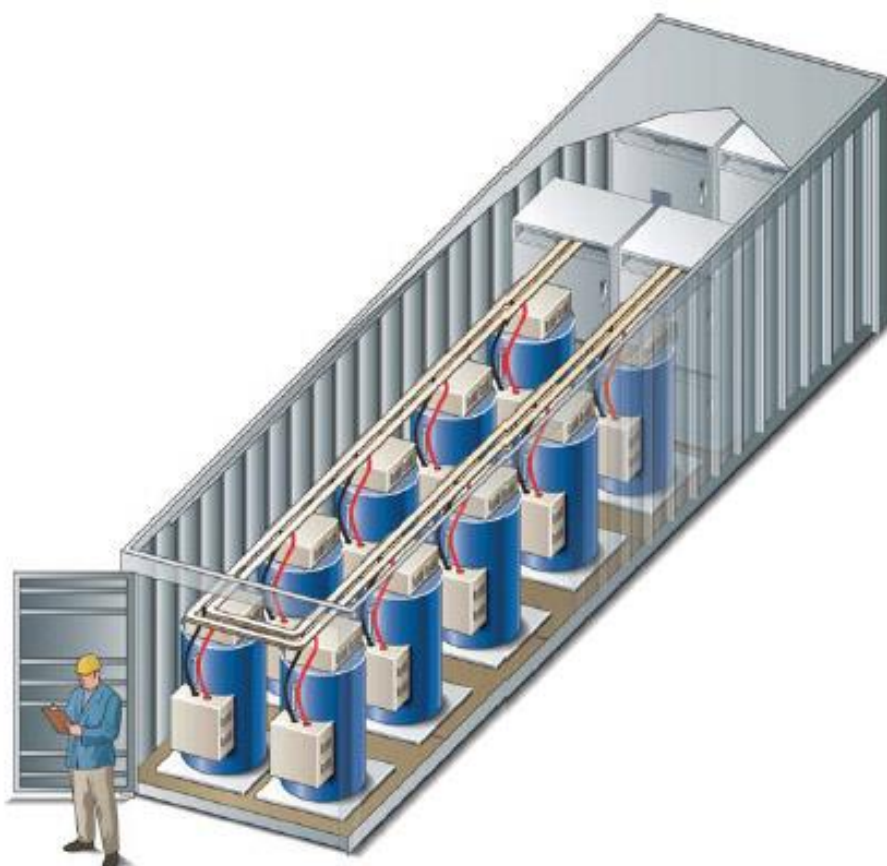


Рисунок 1 – Контейнер с цилиндрическими накопителями *Beacon Power* с цилиндрическими маховиками внутри

Накопители, разработанные *Beacon Power*, представляют собой цилиндрические ёмкости, высотой примерно в рост человека (следующие модели будут выше), внутри которых на активных магнитных подшипниках и подвешены супермаховики (рисунок 2). Выполнены они из огромного числа слоёв углеволоконного композита, так что могут раскручиваться до 22,5 тысяч оборотов в минуту. Вес их составляет сотни килограммов, а вместе с корпусом – более тонны. На стальном валу маховика внутри герметичного стального цилиндра, установлен ротор высокоэффективной обратимой электрической машины – мотора-генератора (она выполнена на постоянных магнитах), который и раскручивает маховик при приёме энергии и вырабатывает ток – при подключении нагрузки [3].

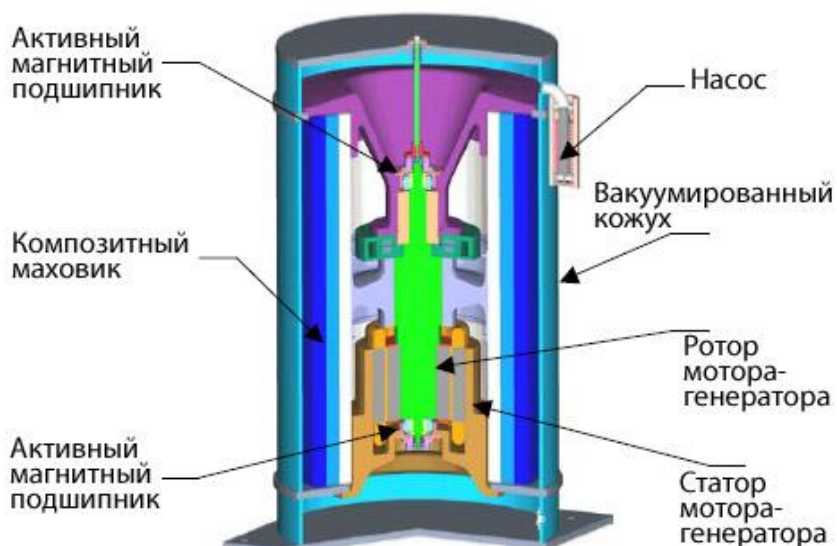


Рисунок 2 – Устройство супермаховичного накопителя *Beacon Power Smart Energy*

В 2011 году компания *Beacon Power* построила в городе Стивентаун, штат Нью-Йорк, первый в мире кластер из 200 маховичных накопителей с суммарной мощностью 20 МВт. Регулирующий завод суммарным запасом энергии 5 МВт·ч и временем подключения в сеть всей пиковой мощностью – менее 4 секунд занимает со всем сопутствующим оборудованием площадь всего 20 соток [3].

В случае использования подобных аккумуляторов для регулирования частоты и мощности блоки АЭС будут работать в базовом режиме, а, следовательно, с наивысшим коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ). Установка 500 МВт аккумулирующих мощностей эквивалентна строительству нового блока АЭС в 1000 МВт, а стоимость одного блока колеблется в диапазоне 1,5–1,6 млрд. долларов США [15]. Стоимость аккумуляторов оценивается на уровне 400–500 \$/кВт установленной мощности [4], и это при сроке монтажа не более 3–4 месяцев.

Аккумуляторы энергии на базе супермаховиков могут быть также использованы для: аварийного электропитания систем безопасности АЭС и других промышленных объектов, требующих надежного резервирования электропитания; источника электропитания электромобилей, электропоездов, водных судов и других транспортных средств; источников бесперебойного электропитания в быту и промышленности [1].

Литература

1. Наиболее эффективные способы аккумулирования энергии и перспективы использования технологии аккумулирования энергии в атомной отрасли / В.Н. Нуждин, А.А. Просвирнов // ВНИИАЭС – Федеральное агентство по атомной энергии ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ» Центр «Атом-инновация» - Материалы инновационного форума РОСАТОМА – Июнь, 2007 год Москва. <http://refdb.ru/look/1283386-p3.html>.
2. Аккумуляторы энергии в тяговом электроснабжении // *International Railway Journal*, 2001, №4, р. 42 – 43.
3. Попов, Л. Вращающаяся армия бережёт 60 герц стабильного электричества // <http://www.membrana.ru/particle/3111>
4. Ali Nourai, “Comparison of the Cost of Energy Storage Technologies for T&D Applications” Based on EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for T&D Applications, 2004, www.electricitystorage.org.

УДК 621.311

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Кенум Е.Л.

Научный руководитель – старший преподаватель Нерезько А.В.

Рабочие лопатки последних ступеней ЦНД мощных паровых турбин работают в условиях высоких каплеударных нагрузок, что часто приводит к интенсивному эрозионному износу входных, а в некоторых случаях, и выходных кромок. Это предопределяет необходимость оперативного контроля и диагностики эрозионного состояния лопаток как одного из основных требований обеспечения надежности лопаточного аппарата.

Синхронизированная по положению ротора и каждой лопатки импульсная масштабированная фото- и видеорегистрация зон повреждений лишена основных недостатков указанных выше методов и в значительной мере дополняет их, поскольку, с одной стороны, позволяет проводить оперативный контроль на закрытом ЦНД в период кратковременных остановов турбины, когда включено валоповоротное устройство, а с другой стороны, устанавливать место расположения, качественный и количественный характер износа и появление других дефектов лопаток и демпферных связей.

Дальнейшее развитие технического решения в измерительном комплексе позволяет также с достаточной для практических задач точностью измерять хорду, следовательно, износ входных кромок в любом сечении изнашиваемого участка лопаток по принципу модуляции ими узкого лучевого пучка.

Применение такой системы дает возможность:

- повысить надежность лопаточного аппарата за счет предотвращения аварийных ситуаций в связи с появлением опасных уровней износа кромок и разрушением их стеллитовой защиты, значительного повреждения металла лопаток, а также демпферных связей;
- снизить интенсивность эрозионных повреждений лопаток за счет оптимизации режимов эксплуатации турбинного оборудования;
- планировать необходимый объем ремонтных работ по восстановлению или замене рабочих лопаток в период предстоящих ремонтных кампаний по фактическому состоянию входных и выходных кромок.

Принцип автоматических измерений хорд рабочих лопаток или эрозионного износа входных кромок как разности двух любых измерений хорд в одном сечении показан на рисунке 1. Он заключается в точном определении интервалов времени, образующихся в результате пересечения узкого светового пучка рабочими лопатками при включенном валоповоротном устройстве, и последующего расчета по этим интервалам хорд лопаток. Фронты временных импульсов, соответствующие не изнашиваемым на периферийном участке выходным кромок, после соответствующей обработки используются для синхронизации импульсной видеорегистрации входных кромок лопаток.

Система содержит сложные оптические и электронные компоненты, поэтому предусмотрено самодиагностирование измерительного комплекса. Оно выполняется в два этапа: перед введением измерительных зондов в проточную часть ЦНД и после установки их в рабочем состоянии. На первом этапе тестируются все компоненты, функционирование которых можно оценить визуально: работа источника светового излучения видеоканала в непрерывном и импульсном режимах, работа источников излучения лучевого канала, работа видеокамеры в непрерывном режиме, др. На втором этапе – правильность установки синхродатчика и юстировки зондов в различных сечениях по высоте лопатки. Если тестовый блок системы обнаруживает неисправность или ненадлежащую настройку какого-нибудь из узлов, он указывает оператору – какие необходимо принять меры для приведения комплекса в нормальное состояние.

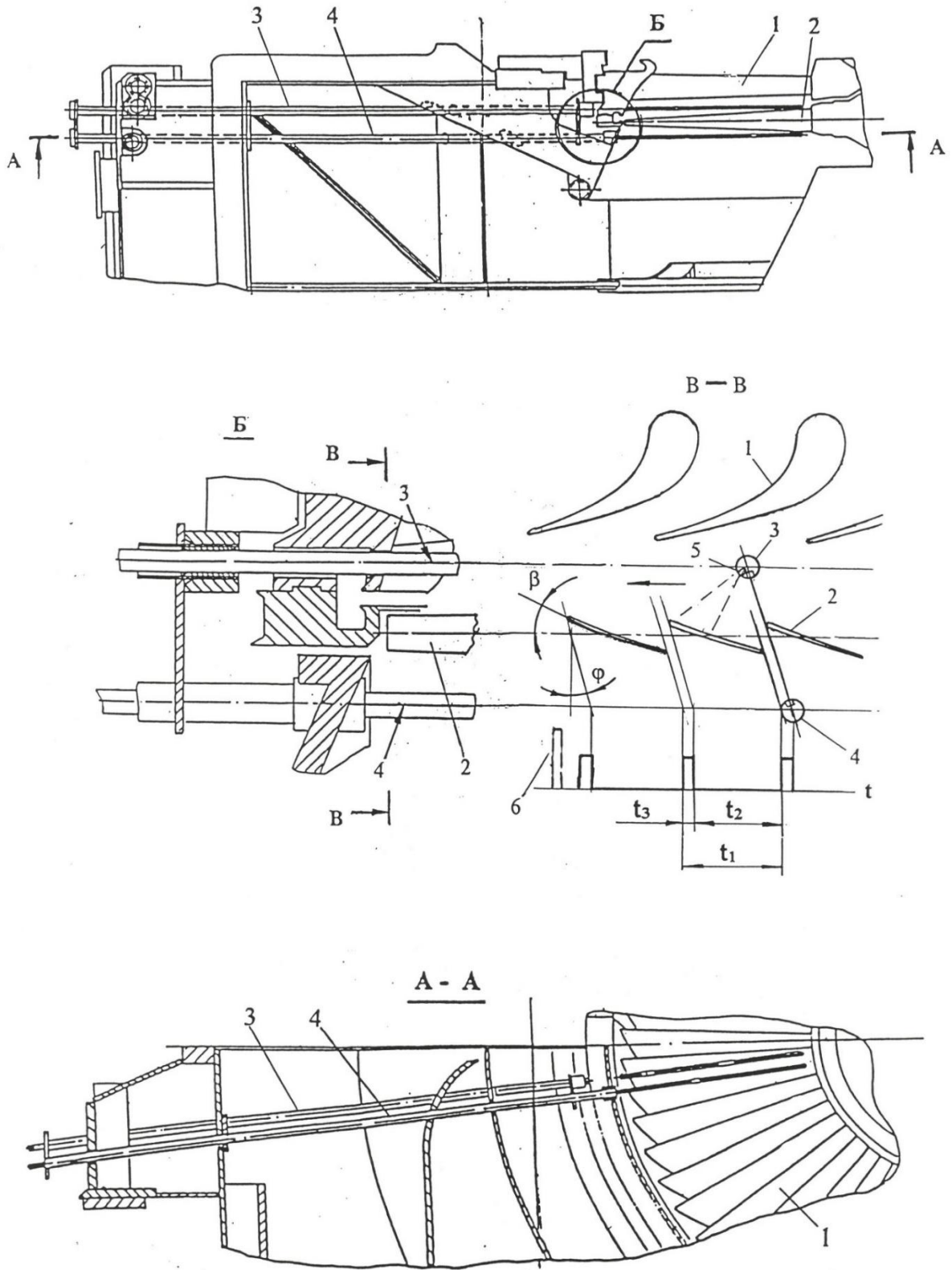


Рисунок 1 – Схема измерения хорды лопаток и видеорегистрации; на виде А-А рабочие лопатки не показаны; 1 – направляющие лопатки; 2 – рабочие лопатки; 3 – видеозонд; 4 – лучевой зонд; 5 – видеокамера; 6 – импульс синхронизации



Рисунок 2 – Фактический вид лопатки ЦНД

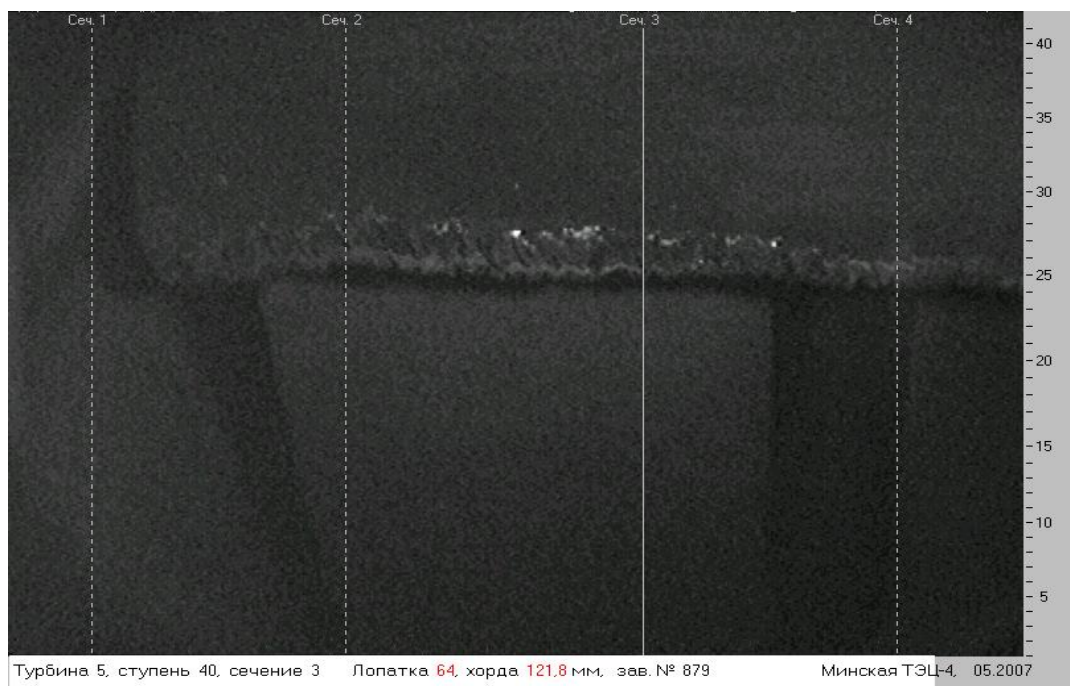


Рисунок 3 – Изображение, полученное с зондов

Литература

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ООО «ЭНЕРГОСЕРВИС» – ОАО «НПО ЦКТИ», 2003.
2. Хаимов, В.А. Внедрение системы оперативного контроля и диагностики эрозионного износа рабочих лопаток паровых турбин / В.А Хаимов, Е.И. Пузырев, Е.О. Воронов, В.А. Ганжин // Электрические станции. – 2006. – № 12. – С. 32–36.
3. Хаимов В.А., Ляпунов В.М., Рубинов А.М., Шелест С.О. Система оперативного контроля и диагностики эрозионного износа лопаточного аппарата паровых турбин. Труды ЦКТИ, 2003, вып. 292.

УДК 621.182.4

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ

Кирейчик Д.П.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Жихар Г.И.

Устройства для обдувки регенеративных воздухоподогревателей

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. Недостатком подобных многосопловых аппаратов является повышенный единовременный расход пара, что требует больших диаметров подводящих трубопроводов.

Обмывка регенеративных воздухоподогревателей

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. Перемещение 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 следует применять 2–4 раза в год, сочетая ее с паровой обдувкой и применяя все указанные ранее мероприятия, приводящие к увеличению межпромывочной кампании. Такую очистку целесообразно использовать и во время ремонтных работ для удаления отложений из вынутых пакетов РВП.

Очистка регенеративных воздухоподогревателей нагревом продуктами сгорания

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 °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.

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.

Другой недостаток этого метода – снижение экономичности котла за счет повышения температуры уходящих газов на 20–25 °С. Эти недостатки и являются причиной, ограничивающей применение такого способа.

Импульсная очистка регенеративных воздухоподогревателей

В последние годы на ряде энергетических котлов сделана попытка использовать импульсную очистку для удаления золовых отложений из регенеративных воздухоподогревателей.

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 золовые отложения.

В ударных трубах развивается при сгорании смеси газ + воздух избыточное давление до 0,196–0,392 МПа (2–4 кгс/см²), периодичность импульсов 2–8 с. Расход газа на установку составляет 20–50 м³/ч. Рекомендуемая продолжительность импульсной очистки 0,5–1 ч при включении ее 1–3 раза в смену.

Литература

1. Гаврилов А.В., Малкин Б.М. Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.

УДК 628.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕДОЧИСТКИ ВПУ ТЭС

Ковалёва Т.П., Ковалёв М.С.

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

В Республике Беларусь основным источником водоснабжения ТЭС и АЭС являются поверхностные воды. Использование подземных вод запрещено законодательством. Поверхностные воды имеют в своём составе самые различные примеси: взвешенные, органические, истинно-растворённые. Количество примесей не стабильно, меняется по годам и сезонам. Это существенно усложняет технологию и оборудование водоподготовки, требуя вводить в состав ВПУ предварительную очистку воды. Традиционно в состав предочистки входят осветлители и механические фильтры. Осветлители являются исключительно крупногабаритными, металлоёмкими аппаратами. Находящийся в работе осветлитель представляет собой сложную систему, состояние равновесия и устойчивости, которой требует строгой стабилизации таких параметров, как температура воды, поступающей в осветлители, производительность осветлителя, дозирование реагентов, строгого поддержания уровня шламовой зоны и т.д. Таким образом, эти аппараты требуют оснащения их автоматическими регуляторами. По этой причине в последнее время ведутся разработки по созданию предочисток, которые позволили бы обеспечить высокую степень предварительной подготовки воды с одновременным упрощением технологического процесса и оборудования. В данной работе рассмотрим возможность использования для этих целей динамических осветлителей.

В предлагаемой схеме предочистки интересным решением являются динамические осветлители. Принцип работы данной технологии представлен на рисунке 1.

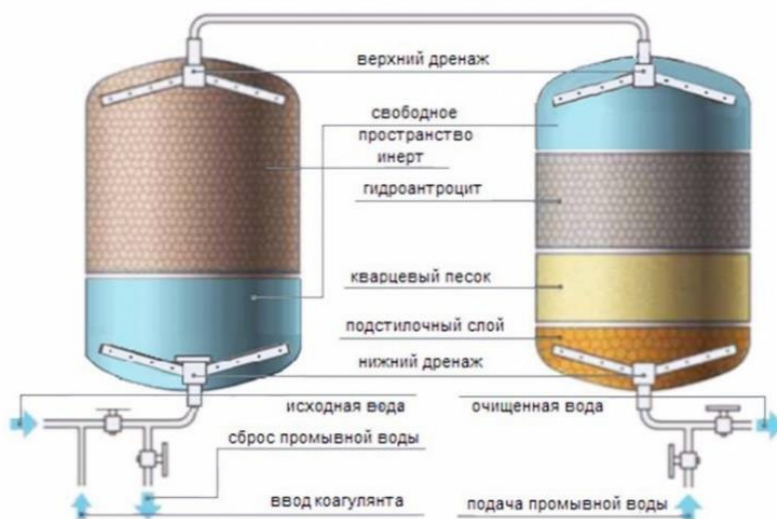


Рисунок 1 – Принципиальная схема предлагаемой предочистки

Предварительно в исходную воду последовательно дозируется коагулянт и флокулянт для образования хлопьев загрязняющих веществ. Фильтрация воды производится последовательно восходящим потоком в динамическом осветлителе загруженным плавающим инертным материалом марки INERT®. Частично-осветленная вода после динамического осветлителя подается на двухслойный механический фильтр для дальнейшего осветления. Периодическая взрыхляющая промывка проводится водой в противоположном направлении. Сначала промывочная вода подается снизу-вверх в механический фильтр, промывая последовательно слой кварцевого песка и слой

гидроантрацита. Далее промывочная вода поступает в динамический осветлитель и сверху вниз промывает слой плавающего инертного материала.

Система предочистки предусматривает следующие последовательные стадии обработки воды:

- коагуляция сульфатом алюминия за счет подачи рабочего 6%-го раствора в трубопровод исходной воды;
- хлопьеобразование в напорной контактной емкости (НКЕ) с временем пребывания обрабатываемой воды 5–10 мин;
- дозирование раствора флокулянта (Праестол 650 ВС) в трубопровод после НКЕ;
- фильтрация коагулированной воды восходящим потоком через динамический осветлитель (ДО), загруженный плавающим инертным материалом марки “INERT” с гранулометрическим составом 3–5 мм;
- финишная доочистка осветленной воды через механический фильтр с двухслойной зернистой загрузкой (нижний слой – мелкозернистый кварцевый песок, верхний слой – крупнозернистый гидроантрацит).

Ниже приведён расчётный анализ двух типов предочистки: традиционной и предлагаемой. Расчёты проведены для условной водоподготовительной установки, работающей на поверхностной воде, содержащей органические и минеральные коллоидные примеси, для ТЭС с условной нагрузкой по обессоленной воде $Q_{\text{обес}}^{\text{БИУ}} = 250$ т/ч.

Результаты расчётов сведены в таблицу:

Традиционная	Предполагаемая
Осветлители ВТИ-100 – 2шт. d=7,3м, h=7м.	ДО-МФ2С-3,0-0,6-ОВТ – 3шт. d=3000мм, h=5,07м.
Осветлительные фильтры ФОВ-3,4-0,6 – 4шт. d=3,4м, h=1м.	
Коагулянт $Al_2(SO_4)_3 = 297,5$ кг/сут.	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3 = 297,5$ кг/сут.
Флокулянт 6,6 кг/сут	Флокулянт 6,6 кг/сут

В каждый динамический осветлитель был загружен плавающий инертный материал марки “INERT” с грансоставом 3-5 мм в объеме 11,5 м³ на высоту 1,7 м.

В каждый механический фильтр были загружены снизу-вверх следующие фильтрующие материалы:

- гравий (подстилочный слой) с грансоставом 2–5 мм в объеме 2,5 м³ для заполнения нижней сферы;
- гидроантрацит с грансоставом 1,2–2,5 мм в объеме 6,4 м³ на высоту 1,2 м.

Максимальная производительность на каждом динамическом осветлителе и механическом фильтре составляет 118–125 м³/ч (скорость фильтрования 22–23,5 м/ч).

Отключение динамического осветлителя на взрыхляющую промывку может производиться при перепаде давления свыше 1,5 кгс/см², либо при пропуске очищенной воды за фильтроцикл свыше 2500 м³.

Отключение механического фильтра на взрыхляющую промывку может производиться при перепаде давления свыше 1,0 кгс/см², либо при пропуске очищенной воды за фильтроцикл свыше 3500 м³.

Взрыхляющая промывка динамического осветлителя и механического фильтра производится традиционно, а именно, сначала воздухом, а затем для механического фильтра восходящим потоком воды, а для динамического осветлителя нисходящим потоком воды.

Количество промывной воды составляет порядка 50 м³ на каждую промывку динамического осветлителя и механического фильтра, что соответственно составляет 2 % и 1,5% от количества обработанной воды.

Доза коагулянта (сульфат алюминия) в среднем составила 0,7 мг-экв/дм³, а доза флокулянта (Праестол) – 1,0 мг-экв/дм³.

Выводы

– суммарное количество сточных вод после взрыхляющей промывки установки составляет 4,1 м³/кг (МФ – 1,5 %), что на порядок меньше по сравнению с традиционным методом очистки;

– использование отечественного оборудования (корпуса фильтров и дренажно-распределительные устройства) и фильтрующих материалов (инерт, гидроантрацит, кварцевый песок, гравий), срок службы которых, как известно составляет 30–40 лет и 8–15 лет соответственно, влечет значительное снижение капитальных и эксплуатационных затрат;

– качество осветленной воды по таким показателям, как содержание окислов железа (менее 0,1 мг/дм³), взвешенных веществ (менее 1 мг/дм³) и окисляемости (снижение на 50 % от исходной), свидетельствует о конкурентоспособности данной технологии в сравнение с мембранной ультрафильтрационной технологией по качеству очищенной воды;

– резкие изменения по качеству исходной воды, не сказывались на качестве очищенной;

– при использовании напорной коагуляции и флокуляции основная очистка исходной воды происходит на динамическом осветлителе, а механический фильтр выполняет финишную (защитную) очистку для гарантированного высокого качества осветленной воды.

Литература

1. Водоподготовка и водно-химический режимы теплоэнергетических станций: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43-0104 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий. – Мн.: БНТУ, 2015. – 105 с.
2. <http://www.prom-voda.ru/news-25>.

УДК 621.311.22.002.51

ПАРОКИСЛОРОДНЫЙ И ПАРОВОДОКИСЛОРОДНЫЙ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ, ПАССИВАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ковалёв М.С., Ковалёва Т.П.

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

Надежность и эффективность эксплуатации энергетического оборудования в значительной степени зависят от состояния внутренних поверхностей нагрева и водно-химического режима работы энергоблока, котла, турбины. Для очистки, пассивации и консервации этих поверхностей разработаны и уже широко используются в энергетике методы их парокислородной и пароводокислородной обработки, основанные на применении перегретого пара (в первом случае), воды или пароводяной смеси (во втором случае) вместе с кислородом в качестве окислителя.

Метод пароводокислородной очистки, пассивации и консервации (ПВКО, П и К) применяется в энергетике:

- для очистки энергооборудования от отложений как перед пуском энергоблоков (котлов), так и в процессе их эксплуатации;
- для пассивации внутренних поверхностей нагрева с целью снижения переноса продуктов коррозии по пароводяному тракту энергоблока;
- для консервации оборудования на время его останова от 3 до 5 лет.

Парокислородная и пароводокислородная очистка, пассивация и консервация проводятся путем дозирования кислорода в воду, пароводяную смесь или пар при температуре 130–450 °С. При этом концентрация кислорода составляет более 1 г/кг, скорости воды и пароводяной смеси 0,5–5 м/с, пара – 20–80 м/с.

При использовании ПВКО в котлах, можно отказаться от предпусковых, а в некоторых случаях и от эксплуатационных промывок пароводяных трактов химическими реагентами.

С помощью пароводокислородной очистки можно удалить 50–70 % отложений. Во время предпусковой ПВКО гидратированные продукты коррозии железа (в том числе и двухвалентного), имеющиеся на внутренних поверхностях труб, легко окисляются кислородом, при этом изменяется структура отложений и уменьшается их сцепление с металлом, затем мелкодисперсный осадок потоком пароводяной смеси или пара удаляется из контура. Под воздействием кислорода при проведении ПВКО валентность железа повышается, что изменяет структуру отложений, уменьшается сцепление слоя с металлом и образовавшийся шлам выносится потоком среды из контура. Медные отложения состоят из металлической меди, которая под воздействием кислорода соединяется с ним, образуя оксид меди, что также способствует разрушению отложений, переходу их в мелкодисперсную форму шлама и выносу его из контура.

Опыт показал, чтобы обеспечить пассивацию металла и в целом надежную защиту от коррозии тракта котла с помощью различных реагентов (например, гидразина, аммиака) невозможно. В пароводяном тракте ТЭС в начальный период эксплуатации оборудования (от 15 сут до нескольких месяцев) появляется большое количество продуктов коррозии.

С помощью метода ПВКО, П и К можно удалить продукты коррозии и создать на поверхности металла защитную пленку, позволяющую резко снизить продолжительность пуска котлов в эксплуатацию. При этом металл защищается от коррозии на длительный период, что приводит к сокращению переноса продуктов коррозии по пароводяному тракту энергоблока (котла) и повышению надежности работы оборудования. Коррозионная стойкость защитных пленок определялась, методом снятия поляризационных кривых. Этим методом подтверждено, что углеродистая сталь после ПВКО, П и К приобретает защитную пленку, которая обладает более высокой коррозионной стойкостью, чем аустенитная нержавеющая сталь.

В то время как после кислотной очистки и гидразинно-аммиачной пассивации образующиеся пленки не обладают такими защитными свойствами, как после ПВКО, П и К. Необходимо отметить, что кислородный или кислородно-аммиачный водно-химический режим также не обеспечивает глубокой пассивации металла. При ПВКО, П и К язвы и микротрещины, образовавшиеся на трубах при эксплуатации котла, очищаются и пассивируются кислородом: внутри язвы или микротрещины образуется защитная пленка с высокой коррозионной стойкостью.

Данный метод также хорошо зарекомендовал себя и для консервации лопаточного аппарата во время останова турбины применяются различные методы обработки: парокислородом, октадециламином, различными ингибиторами коррозии, азотом, подогретым или осушенным воздухом. Однако ни один из этих методов, кроме парокислородного, не позволяет создать на поверхностях проточной части турбин защитную пленку, предохраняющую металл от коррозии как во время останова, так и в процессе эксплуатации турбины. Необходимо также отметить, что некоторые из перечисленных методов консервации достаточно дороги и токсичны.

Специалистами ВТИ (водно-химического отделения и отделения турбин и теплофикации) разработан метод парокислородной очистки, пассивации и консервации (ПКО, П и К) турбоагрегата для частичного удаления отложений в проточной части турбины и ее консервации с образованием коррозионно-стойкой защитной пленки. в процессе ПКО, П и К лопаточного аппарата турбины происходит вымывание продуктов коррозии: меди, кремниевой кислоты, солей натрия – и снижение жесткости.

Сущность разработанного метода заключается в том, что при одновременном воздействии на загрязненную поверхность перегретого водяного пара и кислорода происходят интенсивное окисление продуктов коррозии, уменьшение их сцепления с поверхностью металла проточной части турбины, вынос их из очищаемого тракта и образование коррозионно-стойкой защитной пленки.

Схема парокислородной очистки, пассивации и консервации турбины приведена ниже.

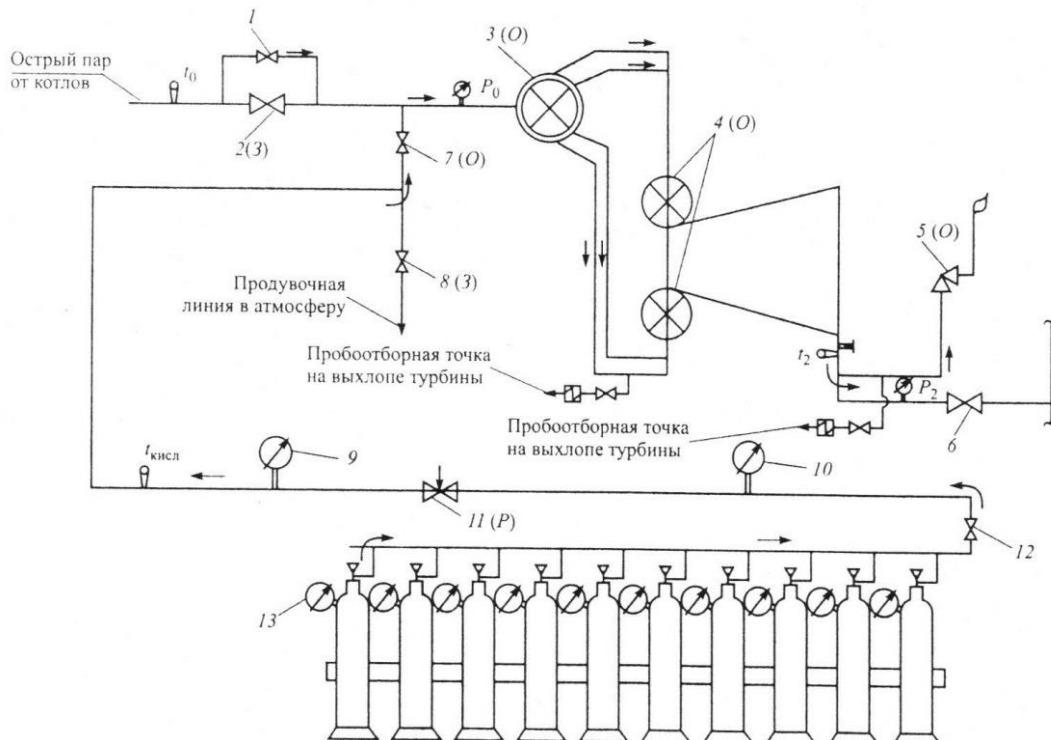


Рисунок 1 – Принципиальная схема проведения парокислородной очистки, пассивации и консервации турбины:

1 – Байпас ГПЗ; 2 – ГПЗ; 3 – СК; 4 – РК; 5 – ПК; 6 – задвижка на выходе в коллектор; 7,8 – В-3, В-2; 9, 10 – М-3, М-1; 11 – Р-1; 12 – В-1; 13 – М-2; (3) – закрыто; (О) – открыто; (Р) – в регулировочном положении

Стойкость защитной пленки после останова оборудования сохраняется длительное время и практически не снижается при работе турбины. Обработка турбин, имеющих сезонные простои продолжительностью от 4 до 5 мес, должна производиться не реже 1 раза в 3 года. Наиболее надежным способом консервации оборудования, как подтверждают проведенные исследования, на длительное время (более трех лет) является именно парокислородная обработка.

Так как пассивация и консервация близки по смыслу (на поверхности металла образуется защитная пленка, препятствующая протеканию коррозионных процессов), то мы обозначим, что есть что. При эксплуатации оборудования на рабочих параметрах следует употреблять понятие «пассивация», а для стояночных режимов – «консервация».

Исследованы образцы труб после проведения пароводокислородной очистки, пассивации и консервации и простоя оборудования в течении года. Коррозионная стойкость защитной пленки, оказалась вполне приемлемой после длительного времени простоя. Исследования позволяют утверждать, что простоя оборудования допустим, по крайней мере, в течение 3–5 лет без повторной его консервации.

Экономическое сопоставление методов консервации с помощью пароводокислородной очистки, пассивации и консервации и октадециламином (ОДА) проведено на основании данных для энергоблока 300 МВт ТЭЦ-23 Мосэнерго. Затраты на проведение пароводокислородной очистки оборудования этой станции составляют примерно 350 тыс. руб. (включают в себя стоимость кислорода, обессоленной воды и топлива). При использовании метода ПВКО, П и К одновременно производятся очистка, пассивация и консервация оборудования. Затраты же на консервацию и последующую расконсервацию при использовании ОДА превышают 610 тыс. руб. (включают в себя стоимость реагента, топлива и обессоленной воды).

Метод ПВКО, П и К обладает также существенными техническими преимуществами. Только этим методом, если его сравнивать с другими способами консервации, можно создать на поверхности нагрева прочную защитную пленку, способствующую повышению надежности энергетического оборудования при его эксплуатации.

Выводы

Традиционные способы химической очистки энергетического оборудования ТЭС, используют дорогостоящих, зачастую токсичных реагентов, при этом образуется большой объем сточных вод, требующих обезвреживания. Для завершения очистки дополнительно используются реагенты для пассивации металла. При рассмотренной технологии перечисленные недостатки отсутствуют, так как кислород одновременно и очищает, и пассивирует поверхности без использования химических реагентов.

Пароводокислородная очистка, пассивация и консервация являются эффективным способом повышения надежности эксплуатации энергетического оборудования благодаря кондиционированию поверхностей нагрева и замедлению процессов коррозии, накипе- и окалинообразования.

На электростанциях должны быть внедрены стационарные общестанционные многоцелевые кислородные установки для бессточной очистки, пассивации и консервации энергетического оборудования во время его пуска и эксплуатации.

Консервацию котлов и турбин всех типов необходимо осуществлять экологически чистым пароводокислородным методом.

Литература

1. Консервация, пассивация и очистка проточной части турбины с использованием парокислородной технологии / Н.Н. Манькина, Л.С. Журавлев, А.В. Кирилина и др. // Теплоэнергетика. – 2002. – № 7. – С. 36–38.
2. РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / Служба передового опыта ОРГРЭС. М.: АООТ ВТИ, 1996.
3. РД 34.37.409-96. Методические указания по предпусковой пароводокислородной очистке и пассивации внутренних поверхностей энергооборудования / Н.Н. Манькина, Б.И. Шмуклер, Л.С. Журавлев и др. М.: ВТИ, 1997.

4. РД 153-34.0-37.411-2001. Методические указания по эксплуатационной пароводокислородной очистке и пассивации внутренних поверхностей энергооборудования / Н.Н. Манькина, Л.С. Журавлев и др. М.: АОТ ВТИ, 2001.

УДК 621.18-5

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ ВОДЫ БАРАБАННОГО КОТЛА

Кондратенко П.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

От качественного поддержания уровня во многом зависит надежность работы котельного агрегата, так как упуск уровня воды в барабане приводит к разрыву экранных труб и останову котла. А перепитка приводит к появления гидравлического и теплового удара, то есть также приводит к останову котла или энергоблока.

В настоящее время типовой регулятор питания барабанного котла представляет собой трехимпульсную систему автоматического регулирования (уровнемер, водомер, паромер) структурная схема которой изображена на рисунке 1.

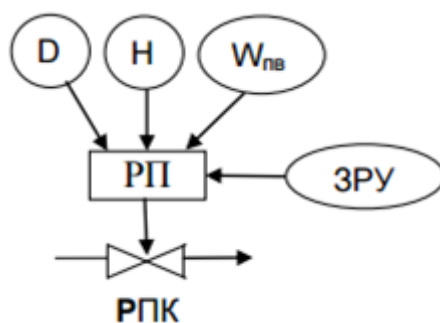


Рисунок 1 – Типовой трехимпульсный регулятор питания барабанного котлоагрегата
H – уровнемер; D – паромер; $W_{пв}$ – водомер; ЗРУ – задатчик ручного управления; РПК – регулирующий питательный клапан.

Основной недостаток типовой системы автоматического регулирования – это наличие статической ошибки регулирования в конце переходного процесса, при возмущении расхода пара, и низкое качество регулирования при резких сбросах нагрузки.

Для устранения этих недостатков предлагается инвариантная двухимпульсная система автоматического регулирования (САР) (уровнемер, водомер) с выделением эквивалентного внешнего возмещения, структурная схема которой показана на рисунке 2.

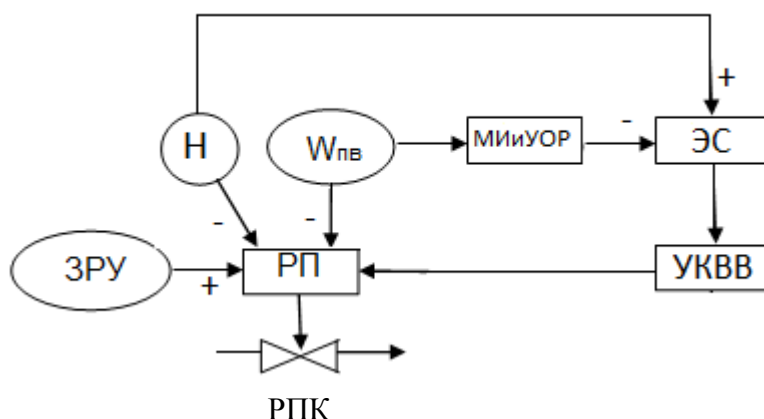


Рисунок 2 – Инвариантная двухимпульсная система автоматического регулирования
H – уровнемер; $W_{пв}$ – водомер; ЗРУ – задатчик ручного управления; МИиУОР – модель инерционного участка объекта регулирования; ЭС – элемент сравнения; УКВВ – устройство коррекции внешнего возмещения; РПК – регулирующий питательный клапан.

Основной ПИ-регулятор настраиваем по передаточной функции опережающего участка (расходу питательной воды при регулирующем воздействии) на основе передаточной

функции оптимального регулятора. Параллельно реальному инерционному участку объекта регулирования (уровень при возмущении питательной воды) формируем модель этого участка, а выход модели сравниваем на элементе сравнения с уровнем в барабане котельного агрегата. Полученную алгебраическую разность с выхода элемента сравнения подаем на вход устройства компенсации эквивалентного внешнего возмущения, а выход подключаем на вход основного регулятора.

В результате всего этого существенно улучшилось качество регулирования при отработке крайнего внешнего возмущения f_2^* (при возмущении расхода перегретого пара). Результаты показаны на рисунке 3.

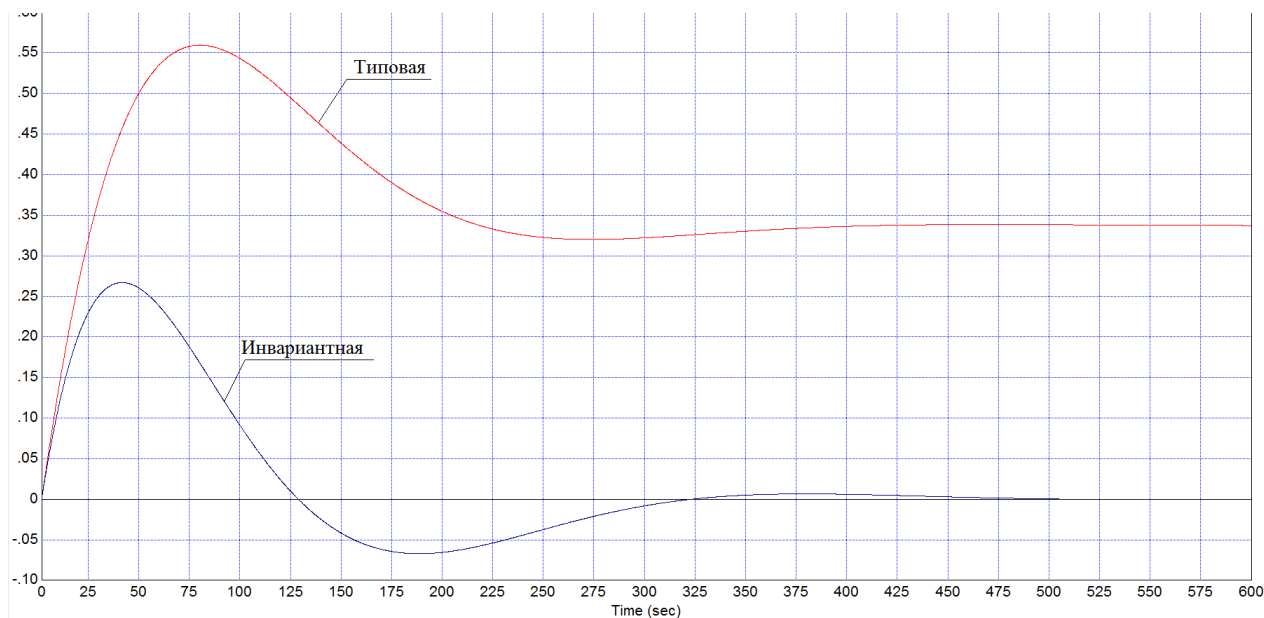


Рисунок 3 – График переходного процесса при отработке крайнего внешнего возмущения f_2^* , при возмущении расхода перегретого пара.

Выводы

Типовой трехимпульсный регулятор питания барабанного котлоагрегата при отработке крайнего внешнего возмущения расходом перегретого пара имеет ряд недостатков, таких как: наличие статической ошибки регулирования, полное время регулирования и максимальная динамическая ошибка регулирования. Все эти недостатки устраняет инвариантная двухимпульсная система автоматического регулирования, а именно: полностью устраняется статическая ошибка регулирования, полное время регулирования сокращается в 1,5 раза, максимальная динамическая ошибка регулирования уменьшается в 2,1 раза.

Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. 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 / Г.Т. Кулаков. – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.

УДК 621.1 (075.32)

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ТРУБ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Кучко Д.А.

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

Тепловые сети – это сложнейшие технические системы, состоящие из множества элементов и конструкций. Выход из строя любой части данной системы может грозить нарушением работы всей теплосети и поэтому ремонт теплопровода является ответственной и достаточно сложной задачей. За счет своевременных и регулярных ремонтно-восстановительных, профилактических работ срок службы теплопровода можно продлить в несколько раз.

Традиционно ремонт тепловых сетей осуществляется открытым способом, который включает в себя следующие этапы [2]:

- разрытие траншеи нужной глубины;
- подготовка основания трубопровода;
- последующая укладка в неё новой трубы;
- обратная засыпка;
- восстановление почвы и зеленых насаждений, благоустройство объекта.

Ремонт открытым способом на территории городов, связан с множеством сложностей – это и сами земляные работы, отвалы грунта, выхлопные газы от используемой техники, шум и грохот, в некоторых случаях возникает необходимость убирать асфальт или выкорчевывать деревья.

При ремонте трубопроводов тепловых сетей, разрушаемых от внутренней коррозии, открытый способ ремонта можно заменить на бестраншейную технологию ремонта (без вскрытия трубопроводов снаружи), что позволит практически полностью избежать вышеуказанных проблем.

Технология ремонта трубопроводов изнутри не является новой. Начало данной технологии положено в послевоенной Германии, когда ремонт труб водопровода и канализации в условиях плотной городской застройки и с целью экономии денежных средств, начали проводить без применения открытых методов (без вскрытия снаружи).

На сегодняшний день данная технология успешно применяется более 50 лет во многих странах для ремонта трубопроводов питьевой воды и стоков. Инновационной эта технология стала благодаря последним достижениям строительной химии, которые позволили создать защитно-ремонтный материал, обеспечивающий высокую стойкость к напряженным эксплуатационным нагрузкам тепловых сетей и необходимую технологичность для соответствия жестким условиям ремонта (по срокам и ограниченности доступа к трубопроводу) [2].

Существует несколько наиболее распространенных методов бестраншейного ремонта и восстановления теплопроводов (санация) – метод нанесения цементно-песчаной изоляции, метод «труба в трубе» (метод релейнинга), метод «чулка» и метод восстановления на сжатом воздухе. Выбор метода зависит от состава и состояния грунта, расположения других инженерных сетей и прочих технических условий.

Самым простым и дешевым методом ремонта является способ нанесения цементно-песчаной изоляции. К числу достоинств рассматриваемого метода ремонта трубопроводов необходимо также отнести высокую экологическую безопасность и надежность самого слоя. Цементно-песчаные покрытия наносятся достаточно быстро (порядка 100 погонных метров в день), имеют сравнительно невысокую стоимость и обладают высокими механическими и антикоррозионными свойствами. Это единственное известное покрытие, которое обладает свойствами пассивной и активной антикоррозионной защиты. Кроме того, нанесенное на внутреннюю поверхность эксплуатируемых трубопроводов цементно-песчаное покрытие позволяет локализовать и прекратить развитие повреждений, возникших на наружной

поверхности металла труб и вызванных сквозной коррозией; в ходе дальнейшей эксплуатации на покрытии не образуются отложения.

При использовании аналогичного способа для защиты трубопроводов тепловых сетей к цементным смесям предъявляются более жесткие требования, чем в случае сетей водоснабжения, обусловленные, в первую очередь, высокими температурами теплоносителя (до 150 °С), величиной давления в трубопроводе и другими условиями, характерными для систем теплоснабжения. В этом случае к статическим и динамическим нагрузкам на цементные покрытия добавляются также нагрузки вследствие теплового расширения стальной трубы. До недавнего времени отсутствовали материалы для покрытий, способные выдерживать тепловые нагрузки во время эксплуатации трубопровода без повреждений, влияющих на степень пригодности. Из-за теплового расширения можно было ожидать возникновения таких напряжений в зоне сцепления цемента и стали, которые могли бы привести к трещинам покрытия или к его отслоению.

Лабораторные исследования разработчиков данных видов покрытий направлены на улучшение эластичных свойств покрытия (его предельной деформативности и трещиностойкости), прочности при сжатии (в меньшей степени) и растяжении (что более важно), его адгезии к металлу и технологичности (подвижности, сохраняемости подвижности, тиксотропности и т.д.).

В этой связи в цементно-песчаную смесь вводят специальные химические добавки модификаторы на основе не редуцируемых полимеров, в результате смешения компонентов получается цементно-полимерная смесь, предназначенная для нанесения цементно-песчаного покрытия.

Технологический процесс нанесения цементно-песчаного покрытия (ЦПП) включает в себя пять этапов [3].

Этап 1. На первом этапе изучаются и анализируются условия прохождения трассы ремонтируемого трубопровода; составляется проект производства работ, в котором определяются места вскрытия трубопроводов, количество и длины технологических захваток (санитруемого участка).

Этап 2. На данном этапе производится механическая прочистка трубопровода. Механический метод прочистки трубопроводов (рисунок 1) заключается в протаскивании через трубу посредством троса и лебедки механического прочистного устройства (скребкового или манжетного снаряда, ерша и пр.).

Этап прочистки завершается после удаления всех наростов и отложений, находящихся внутри трубопровода. По завершению процесса очистки производится проверка внутренней поверхности трубопровода с помощью телеконтроля.

Этап 3. Третьим этапом является собственно нанесение ЦПП.

Цементно-песчаное покрытие представляет собой двухкомпонентную смесь (сухая и жидкая). Сухая часть ЦПП состоит из портландцемента марки ПЦ 500, фракционированного кварцевого песка и базальтовой микрофибры и специальных минеральных добавок. Жидкая часть ЦПП представляет собой смесь минерально-полимерных добавок полифункционального действия.

Сущность способа заключается в нанесении на внутренние поверхности трубопроводов цементно-песчаного покрытия. Осуществляется это центробежным способом с помощью пневматической или электрической метательной головки (рисунок 2) облицовочного агрегата, протаскиваемого внутри трубопровода посредством троса и лебедки.



Рисунок 1 – Прочистка трубы механическим способом



Рисунок 2 – Нанесение цементно-песчаного покрытия электрической металательной головкой

Уникальное свойство цементно-песчаного покрытия заключается в том, что оно обладает как пассивным, так и активным защитным эффектом от коррозии металла. Пассивный защитный эффект достигается за счет чисто механической изоляции металлической стенки трубы слоем раствора. Активный защитный эффект состоит в том, что при гидратации цемента в порах возникает насыщенный раствор гидроксида кальция, рН которого составляет около 12,6. При этих условиях железо пассивируется за счет образования субмикроскопического покровного слоя из оксидов железа.

Этот чрезвычайно тонкий пассивирующий слой механически изолирован цементно-песчаным покрытием от протекающей воды, удерживается на месте и предотвращает дальнейшую коррозию металла обработанного участка трубопровода.

Технологическая схема облицовки трубопроводов ЦПП показана на рисунке 3.

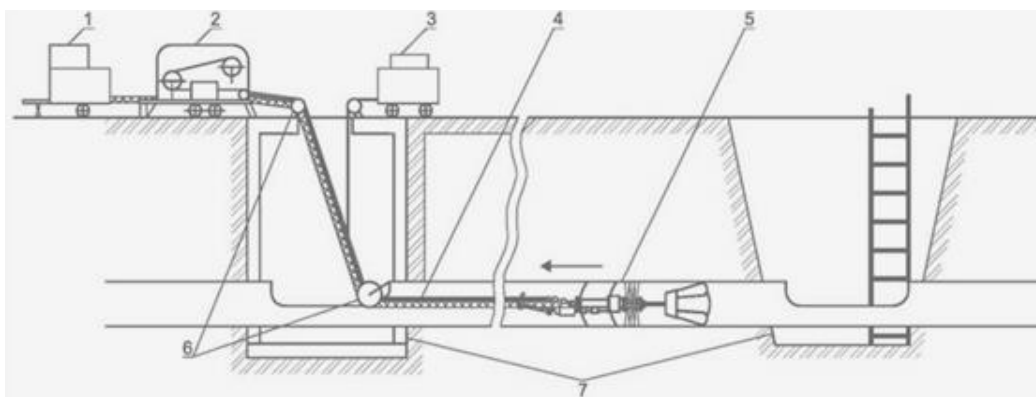


Рисунок 2 – Технологическая схема облицовки трубопроводов цементно-полимерным раствором: 1 – растворонасос; 2 – лебедка; 3 – компрессор; 4 – трос, шланг для подачи воздуха на облицовочный агрегат; 5 – облицовочный агрегат; 6 – ролики; 7 – рабочий и вспомогательный колодец или котлован

Образовавшиеся в процессе твердения цементно-песчаного покрытия трещины в нем, находящиеся в контакте с водой, затягиваются выделяющимся карбонатом кальция.

Этот активный защитный процесс называют «самолечением» цементного покрытия.

Таким образом, при постоянном наличии воды обеспечивается многолетняя защита трубопровода.

Затвердевшее ЦПП надежно герметизирует небольшие локальные повреждения в теле трубы, а также нарушенные стыковые соединения.

Наряду с антикоррозионным защитным эффектом цементно-песчаное покрытие улучшает также гидравлические характеристики трубопровода. Причиной этого является отсутствие коррозии и отложений в трубе, а также возникновение на поверхности покрытия скользкого гидрофильного (гелевого) слоя, образованного мельчайшими частичками глины и железомарганцевыми соединениями.

Этап 4. На данном этапе технологического процесса облицовки внутренних поверхностей трубопроводов цементно-песчаным покрытием выполняют контроль качества производства работ.

Визуальный контроль осуществляют с помощью телевизионной системы. Покрытие должно быть сплошным и равномерным. На поверхности покрытия допускаются продольные и поперечные борозды (гребни) глубиной (высотой) не более 1–1,5 мм.

Этап 5. На пятом этапе производят заварку вырезов в трубопроводах, монтаж снятого оборудования, промывку и дезинфекцию трубопровода. Заполнение отремонтированного участка трубопровода технологической сетевой водой производится после суточного твердения. Через 3 суток (72 ч) после нанесения ЦПП можно приступить к эксплуатации трубопровода с рабочими параметрами теплоносителя.

Как показал опыт облицовки внутренних поверхностей трубопроводов методом ЦПП, сроки производства работ в 10–12 раз короче сроков реконструкции теплосетей. Надежность работы облицованных стальных трубопроводов примерно на порядок выше необлицованных, также продляется срок службы труб. Стоимость производства облицовочных работ при этом составляет 15 – 40 % стоимости реконструкции трубопровода (меньшие цифры соответствуют большим диаметрам).

Технико-экономическая оценка применения технологии в РФ приведена в таблице [1].

Таблица – Технико-экономическая оценка применения технологии в РФ

Экономические показатели	Существующая технология (открытый метод)	Ремонт изнутри трубы
Стоимость реконструкции, для среднего диаметра 250 мм	162000 \$	81 000 \$
Протяженность трубопроводов разрушаемых внутренней коррозией	100 000 км	100 000 км
Общая стоимость	16200 млн \$	40300 млн \$
Разница		121000 млн \$
Стоимость реконструкции, для среднего диаметра 250 мм	162000 \$	81000 \$
Минимальная протяженность ежегодного ремонта труб разрушаемых внутренней коррозией, необходимая для остановки процесса старения тепловых сетей	4 000 км	4 000 км
Общая стоимость в год	645 млн. \$	161 млн. \$
Разница в год		484 млн. \$

- в однотрубном исчислении

Литература

1. Аманбаев А.А. Инновационная технология ремонта труб тепловых сетей. (МС-Vauchemie Russia) / А.А. Аманбаев, Р. Беркель // Реконструкция энергетики. – 2010. – № 2. – С. 158.
2. Боровков В.М. Ремонт теплотехнического оборудования и тепловых сетей: учебник для образоват. учреждений среднего проф. образования / В.М. Боровков, А.А. Калюттик, В.В. Сергеев. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 208 с.
3. Николаев А.Э., Сафонов А.А. Санация тепловых сетей методом цементирования // Новости теплоснабжения. – 2011. – №11. – С. 18–23.

УДК 621.311

ПНЕВМОАККУМУЛИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ГРАФИКОВ СУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ

Лихута А.В., Олизарович Е.А.

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

Главным плюсом строительства БелАЭС является экономия около 5 млрд. кубометров газа в год и снижение энергозависимости от российского сырья (но в соответствии с межправительственным соглашением Беларусь должна закупать топливо для АЭС у России в течение всего срока эксплуатации станции).

Ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС потребует резкого изменения режимов работы других генерирующих источников белорусской энергосистемы, что, в свою очередь, вызовет ряд сопутствующих проблем. А именно профицит вырабатываемой в стране электроэнергии.

В 2014 году общее потребление электроэнергии в Беларуси составило 38,04 млрд. кВт•ч (100,9 % к предыдущему году). При этом 3,83 млрд. кВт•ч Беларусь импортировала (на 43 % меньше, чем годом ранее).

Первый блок АЭС мощностью 1200 МВт в Беларуси планируется ввести в эксплуатацию в 2018 году, а второй – в 2020 году. АЭС будет производить примерно 18 млрд. кВт•ч электроэнергии в год. От импорта электроэнергии Беларусь полностью откажется уже после ввода первого блока АЭС. Тем не менее с вводом в эксплуатацию двух блоков станции профицит электроэнергии в любом случае окажется достаточно большим – около 14 млрд. кВт•ч.

Работающим в Беларуси станциям придется работать с меньшей, чем прежде, нагрузкой, в новом режиме – постоянного чередования пуска и остановки. Все эти проблемы белорусская энергосистема особо почувствует в условиях минимальных нагрузок в ночные часы. В этот период придется ежедневно проводить большой объем регулировочных мероприятий на КЭС и ТЭЦ, предельно разгружая их до технического минимума с возможной регулярной остановкой отдельных блоков, а также снижать теплофикационную мощность ТЭЦ. В результате эффективность работы ТЭЦ заметно ухудшится.

Чтобы энергосистема функционировала нормально, атомной станции необходим резерв. Причем резервная мощность в энергосистеме Беларуси должна составлять как минимум 1200 МВт – на случай, если из строя выйдет один из блоков АЭС.

Чтобы иметь такой резерв, можно построить новые станции или же воспользоваться уже действующими – Березовской ГРЭС, Лукомльской ГРЭС, Минской ТЭЦ-5 и т.д. (если после запуска АЭС не консервировать излишние мощности этих станций, а поддерживать их в рабочем состоянии).

Белорусские энергетики имеют определенный опыт регулирования максимальных и минимальных нагрузок энергосистемы. Это – использование действующих ТЭЦ и КЭС при их работе в период максимальных и минимальных нагрузок, а также применение дифференцированных тарифов в зависимости от времени выработки электроэнергии.

И все же после ввода в эксплуатацию АЭС Беларуси придется активнее заняться «электрификацией». На действующих отопительных котельных и ТЭЦ необходимо будет установить электродотопы, а также построить новые электродотопы для отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных зданий.

Во избежание исключения остановки генерирующего оборудования белорусской энергосистемы в часы минимальных нагрузок на ТЭЦ потребуются установка электродотопов суммарной мощностью до 495 МВт, а на котельных «Белэнерго» – электродотопов мощностью до 450 МВт.

По оценкам, цена вопроса дальнейшей «электрификации» в системе «Белэнерго» – около 113 млн. долларов, в том числе 75 млн. долларов потребуются для энергетической модернизации котельных и мини-ТЭЦ и 38 млн. долларов – для ТЭЦ.

БелАЭС можно разгрузить и на 20 %, но желательно сделать это разово: то есть, допустим, в таком режиме она будет работать в течение всего лета, а полностью нагружать станцию будут днем.

В мире по-разному регулируют нагрузки в энергосистеме с учетом работы АЭС. Наиболее востребованы для этих целей действующие тепловые электростанции: во время спада потребления электроэнергии их разгружают до технического минимума, а в период пика – максимально загружают.

Интеграции АЭС в энергосистему помогают воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции, специальные пиковые источники на базе газотурбинных установок (ГТУ) либо газопоршневых агрегатов.

В отличие от традиционной ГТУ, которая в процессе работы для привода компрессора использует 2/3 потребляемого топлива, воздушно-аккумулирующая газотурбинная установка закачивает воздух в хранилище в часы малых нагрузок при низкой стоимости электроэнергии (например, ночью) и использует ее в требуемые часы нагрузки, для выработки электроэнергии. Этот фактор обеспечивает высокую эффективность системы.

Потери энергии в пневмоаккумулирующем устройстве происходят главным образом при сжатии (нагревание) и расширении (охлаждение) технологического воздуха. Для увеличения эффективности подобных установок необходимо, чтобы процесс происходил без потерь тепла, т.е. был адиабатическим. Вопрос состоит в том, как сохранить и сжатый воздух и громадное количество тепла. Для аккумуляции тепла, при нагревании воздуха, используем теплообменники. Воздух закачивается герметичное помещение.

Для нашего расчета задаемся мощностью 100 МВт, которые снимаем во время ночного провала в течение 10 часов.

Расчет температуры воздуха на выходе из компрессора

Первоначальное значение степени повышения давления лопаточного аппарата:

$$\pi_{ла} = \frac{\pi_K \cdot \sigma_{вх}}{\sigma_{вых}} = \frac{8,36}{0,99 \cdot 0,98} = 8,617$$

Температура заторможенного потока на выходе из компрессора:

$$T_2^* = T_n \cdot \pi_{ла}^{\frac{\kappa-1}{\kappa \cdot \eta_{пол}}} = 288 \cdot 8,617_{ла}^{\frac{1,4-1}{1,4 \cdot 0,8}} = 621,5 \text{ K}$$

Температура воздуха на выходе из компрессора:

$$T_2 = T_2^* - \frac{C_{2a}^2}{2 \cdot C_p} = 621,5 - \frac{105^2}{2 \cdot 1004,5} = 616 \text{ K}$$

Количество энергии за время ночного провала, которое может быть получено:

$$A = N \cdot \tau = 100.000.000 \cdot 10 \cdot 3600 = 3,6 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$$

Количество энергии, которую получит воздух:

$E_n = A \cdot \alpha = 3,6 \cdot 10^{12} \cdot 0,8 = 2,88 \cdot 10^{12}$, где α – коэффициент, учитывающий долю потерь энергии.

Необходимая масса воздуха:

$$m = \frac{E_n^* \cdot \mu}{R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} = \frac{(2,88 \cdot 10^{12} / 2) \cdot 0,029}{8,314 \cdot 616 \cdot \ln 8,36} = 3,847 \cdot 10^6 \text{ кг}$$

Масса воды для охлаждения воздуха в теплообменнике:

$$m_{вод} = \frac{m_{воз} \cdot c_{воз} \cdot \Delta t_1}{c_{вод} \cdot \Delta t_2} = \frac{3,847 \cdot 10^6 \cdot 1005 \cdot (343 - 15)}{4187 \cdot (338 - 15)} = 0,936 \cdot 10^6 \text{ кг}$$

Температура воды после снятия теплоты воздуха:

$$t_{вод} = \frac{m_{вод} \cdot c_{вод} \cdot \Delta t_1 \cdot \alpha}{m_{воз} \cdot c_{воз}} = \frac{0,936 \cdot 10^6 \cdot 4187 \cdot (338 - 15)}{3,8 \cdot 10^6 \cdot 1005} = 332^\circ \text{C}$$

Потенциальная энергия воздуха перед турбиной:

$$E_n = \frac{m \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\mu} = \frac{3,847 \cdot 10^6 \cdot 8,314 \cdot 675 \cdot \ln 70}{2,9 \cdot 10^{-2}} = 2,8 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$$

Количество энергии, которую получим на электрогенераторе:

$$E_n = A \cdot \alpha = 2,8 \cdot 10^{12} \cdot 0,8 = 2,3 \cdot 10^{12}.$$

Мощность, которую может выдать турбина:

$$N = \frac{E_n \cdot \eta_{oi}}{4 \cdot 3600} = \frac{2,3 \cdot 10^{12} \cdot 0,8}{4 \cdot 3600} = 127,78 \text{ МВт},$$

где η_{oi} – внутренний относительный КПД турбины.

Расчеты показывают, что в течение 4 часов, пневмоаккумулирующая установка сможет выдать электроэнергию в энергосистему, в часы пиковой нагрузки, около 128 МВт.

Литература

1. Кошкин Н.И. Справочник по элементарной физике. Учебник / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. – М.: «Наука», 1975. – 256 с.
2. Ляхтер В.М. Ветровые электростанции большой мощности. Обзорная информация / В.М. Ляхтер. – М.: Информэнерго, 1987. – 72 с.
3. Яровой Я. Альтернативная энергетика. Аккумуляция электрической энергии. [Электронный ресурс].

УДК 621.1

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРЕВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ И ПИКОВЫМИ БОЙЛЕРАМИ ТУРБИН ПТ-60-130/13

Лихута А.В.

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

В настоящее время экономика Республики Беларусь обеспечивает себя собственными топливно-энергетическими ресурсами только на 10–15 %. Высока также и энергоёмкость промышленной продукции, выпускаемой в республике, которая в 2–3,5 раза превышает энергоёмкость аналогичных изделий в развитых странах. Зависимость от импорта энергоносителей и необходимость повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции обязывает принимать меры, направленные на экономию топливно-энергетических ресурсов всех видов.

Разработан алгоритм расчёта оптимального распределения нагрева сетевой воды между основными и пиковыми бойлерами турбин № 1 и № 2 Гродненской ТЭЦ-2, с целью увеличения выработки электрической энергии на внешнем тепловом потреблении.

В процессе исследования определялись оптимальные параметры производственного и теплофикационного отборов, при которых была бы максимальная выработка электроэнергии. Предлагается алгоритм расчёта оптимальной температуры сетевой воды за основной бойлерной установкой.

Алгоритм расчёта ведётся путем вычисления мощности бойлерной установки при изменении температуры нагрева сетевой воды за бойлерной установкой $t_{об}''$ с заданным шагом dt . Температура $t_{об}''$ лежит в пределах от температуры обратной сетевой воды до температуры прямой сетевой воды. Также вводятся ограничения по расходу пара через часть высокого и среднего давления. В процессе расчета значения полученных мощностей $N_{бу}$ и соответствующие им температуры $t_{об}''$ сохраняются. По завершению итераций из множества мощностей $N_{бу}$ выбирается максимальное значение мощности $N_{бу}^{max}$ и соответствующая ей температура $t_{об}''^{opt}$, которые записываются в выходной массив W . Рассчитывается фактическая мощность бойлерной установки $N_{бу}^{\phi}$ при измеренной фактической температуре $t_{об}''^{\phi}$, по разности мощностей $N_{бу}^{max}$ при температуре $t_{об}''^{opt}$ и $N_{бу}^{\phi}$ при измеренной фактической температуре $t_{об}''^{\phi}$ находится изменение мощности турбины ΔN , которое записывается в выходной массив.

Основная последовательность расчетов представлена на рисунке 1 в виде блок-схемы.

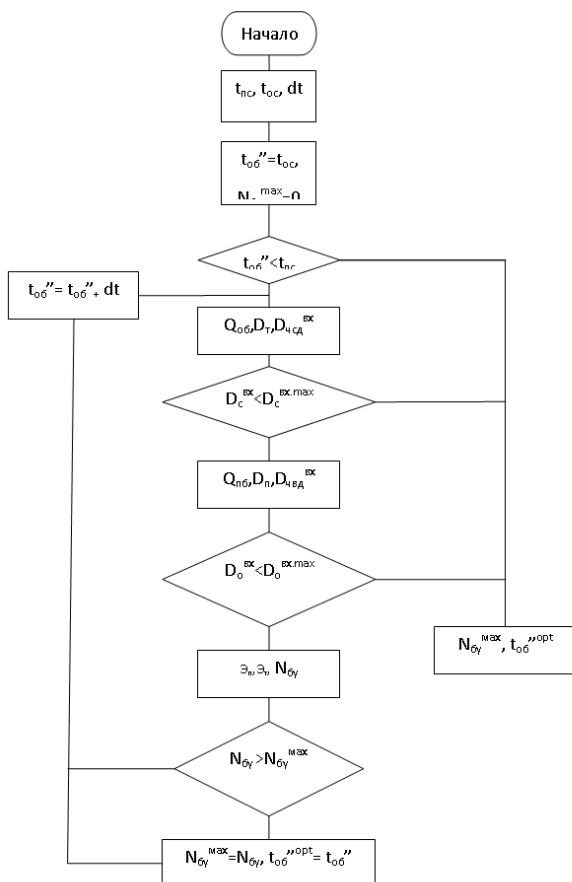


Рисунок 1 – Блок-схема

На основании полученных результатов расчета построены графики, представленные на рис. 2 и рис. 3 зависимости электрической мощности турбины от значений температуры $t_{об}''$.

Результаты расчетов изменений мощности турбины показаны при вариантах ввода ограничений на давление пара в Т-отборе $P_m > 0,13$ МПа и без ввода ограничения из-за деаэраторов $P_m > 0,07$ МПа (минимально-допустимое давление пара в Т-отборе).

Значения оптимальной температуры $t_{об}''$ при принятых режимах турбины и бойлерной не зависят от ограничений по давлению пара в Т-отборах. Они определяются, главным образом, величиной снижения мощности ЦВД из-за естественного повышения давления пара в П-отборе.

Как видно, зависимость мощности турбины от температуры $t_{об}''^{opt}$ имеет экстремальный характер и определяется режимом работы турбины и БУ.

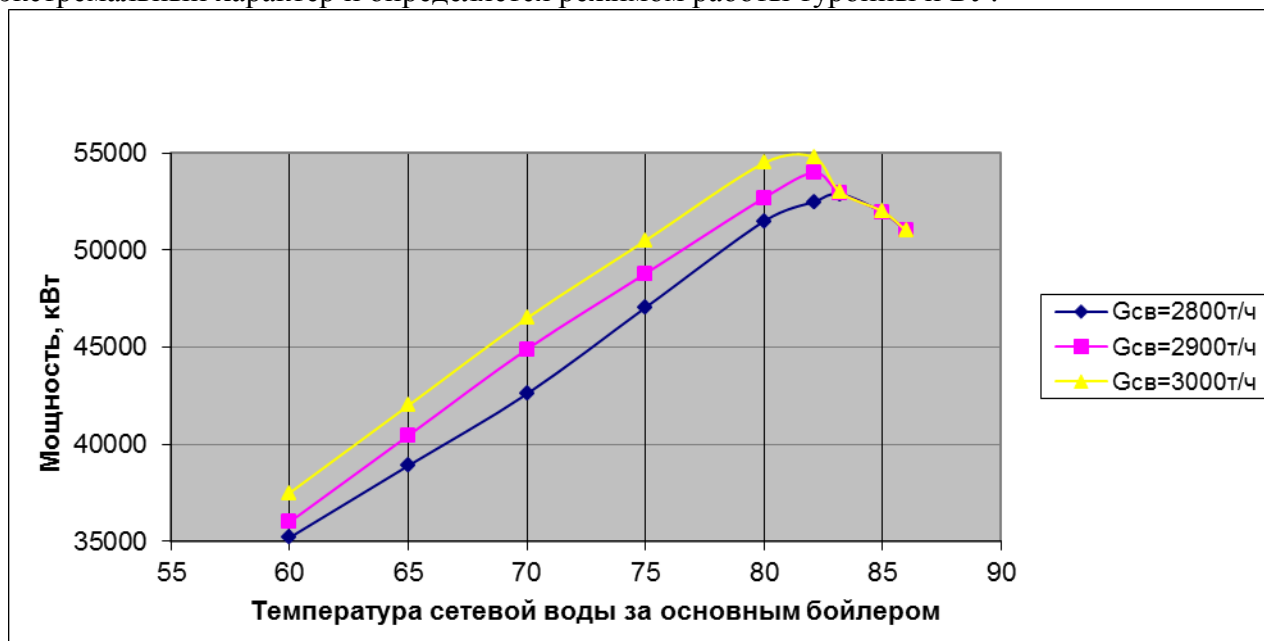


Рисунок 2 – График изменения электрической мощности турбины в зависимости от режима работы БУ при $t_{nc}=100^{\circ}\text{C}$, $t_{oc}=57,5^{\circ}\text{C}$, $P_T > 0,07$ МПа, $\delta t_{об}=20^{\circ}\text{C}$

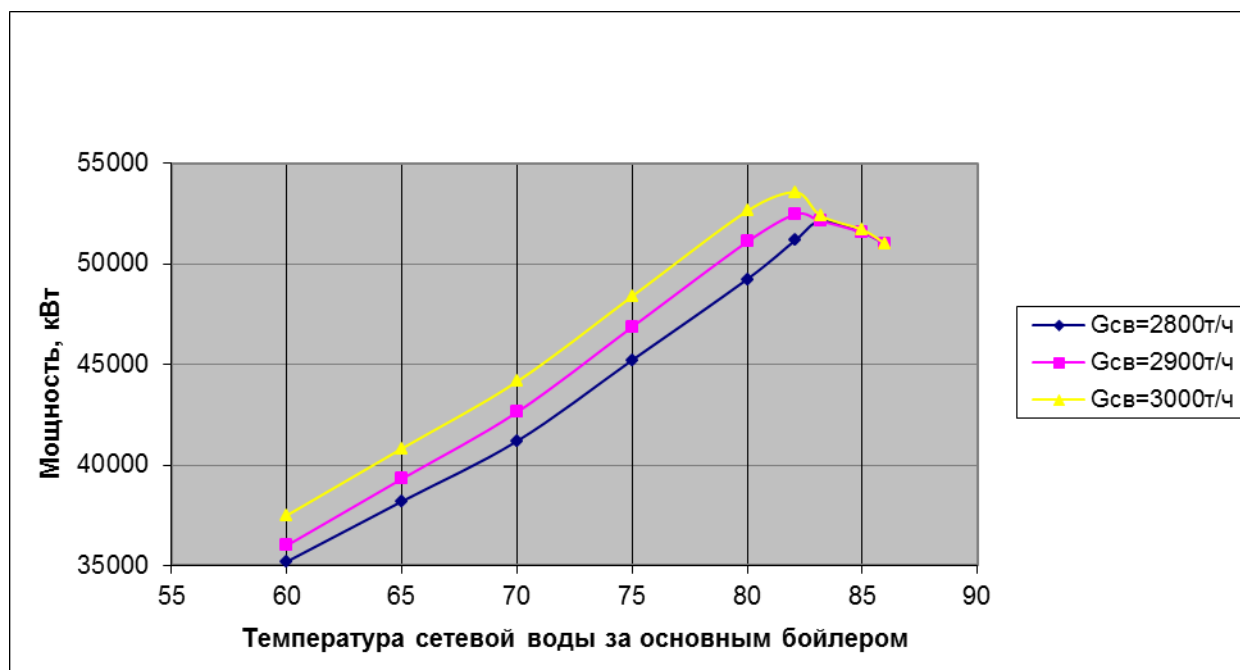


Рисунок 3 – График изменения электрической мощности турбины в зависимости от режима работы БУ при $t_{nc}=100^{\circ}\text{C}$, $t_{oc}=57,5^{\circ}\text{C}$, $P_T > 0,13$ МПа, $\delta t_{об}=20^{\circ}\text{C}$

При автоматизированном проведении расчётов ТЭП турбоустановки, оптимальную температуру сетевой воды целесообразно рассчитывать постоянно в реальном времени

выдавать её значения машинисту турбин, как рекомендацию по ведению режимов бойлерной установки.

Значимость данной работы заключается в том, что предложенный алгоритм позволяет определить оптимальную температуру сетевой воды после бойлерной установки и как следствие максимальную выработку электроэнергии на внешнем тепловом потреблении и в итоге – это экономия тепловых ресурсов.

Литература

1. Андрищенко А.И., Змачинский А.В., Понятов В.А. Оптимизация тепловых циклов и процессов ТЭС. – М.: высшая школа, 1974. – 280 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 6-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с.
3. Хрилев Л.С., Смирнов И.А. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения / Под ред. Е.Я. Соколова. – М.: Энергия, 1978. – 264 с.
4. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – Мн.: Адукация и выхаванне, 2002. – 448 с.

УДК 621.3.036

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лихута А.В.

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

Из общего количества газа, идущего на производственные нужды, значительная доля идет на термообработку материалов, основным технологическим оборудованием здесь являются различного рода печи. В настоящее время основной парк имеет ряд проблем:

- недостаточная модернизация и большой износ основного фонда оборудования;
- «наследие СССР», то есть оборудование не манёвренно и направленно на выпуск

больших объемов и однотипного вида продукции.

В данной статье приведены основные мероприятия, направленные на снижение энергоёмкости выпускаемой продукции. При обследовании печей машиностроительного производства было выявлено ряд недопустимых с технологической точки зрения недоработок:

- нарушения обмуровки;
- присосы холодного воздуха;
- неудовлетворительно организована утилизация тепла уходящих дымовых газов.

В этой связи предлагаются мероприятия, позволяющие повысить эффективность использования топлива:

1. Применение волокнистых высокоэффективных огнеупорных и теплоизоляционных материалов для футеровки промышленных печей нашло широкое распространение в наше время. К примеру, если температура внутри печи около 1300–1350 °С, то при использовании керамоволокнистых модулей, можно (при толщине футеровки 400 мм) получить на поверхности печи температуру не выше 65 °С; керамоволокнистых плит зарубежного производства (при толщине 300 мм) температуру на поверхности не выше 55 °С; российских (наиболее дешёвых) керамоволокнистых материалов (при толщине 400 мм) температуру не выше 70 °С.

Эффект от выполнения данного мероприятия приводит: к экономии энергоносителей до 30 % (в печах периодического действия) и до 15 % (в печах непрерывного действия), снижению габаритов печи за счет толщины кладки, снижению массы футеровки печи до 10 раз, сокращению сроков выхода на режим до 1,5–2 часов, увеличению числа теплосмен до 1000–2000, снижению трудоемкости монтажа футеровки в несколько раз. Срок окупаемости для печей периодического действия составляет порядка 6 месяцев. Для печей и термоагрегатов, работающих непрерывно – 1–1,5 года.

К сожалению, у данного мероприятия есть и недостатки, так применение волокнистых огнеупорных материалов для футеровки отрицательно влияет на прочностные характеристики внутренних поверхностей печи.

2. Применение современных газогорелочных устройств с автоматическим регулированием соотношения «газ-воздух».

Эффект от применения современных плоскопламенных, импульсных, акустических горелок может составить: экономию топлива до 10 %, снижение окалинообразования на 10–15 %, повышение безопасности работы тепловых агрегатов. Срок окупаемости составит 6–9 месяцев.

3. Установка индивидуальных приборов учета расхода природного газа.

Применение приборов учёта расхода природного газа печью само по себе не снижает потребление природного газа, но создаёт стимул к его рациональному использованию, поскольку в отсутствии счётчика затруднительно вести как технический учёт потребления природного газа, так и анализ получаемых данных, а, следовательно, нельзя судить, насколько эффективна работа технологического газового оборудования. Кроме того, в этом

случае трудно оценить, насколько фактически эффективны мероприятия по снижению потребления газа печами.

4. Применение эффективных схем движения теплоносителя в тепловых агрегатах (противоток, П-образные печи с зонами рекуперации, принудительная конвекция, пламенные и тепловые завесы, рециркуляция продуктов сгорания). Эффект от выполнения мероприятий может быть следующий: экономия топлива до 40 %, повышение качества (равномерности нагрева) термообработки. Срок окупаемости составит 5–8 месяцев.

5. Применение рекуперативных, регенеративных устройств.

Внедрение данного мероприятия позволит сэкономить 10–20 % топлива. Срок окупаемости составит 6–8 месяцев.

6. Автоматизация процессов нагрева в печах различного назначения.

Эффект от выполнения мероприятий составит: экономию топлива до 15 %, повышение качества термообработки. Срок окупаемости составит 1–1,5 года.

В заключении важно отметить, что конъюнктура рынков продукции на сегодняшний день такова, что высокая конкурентоспособность может быть достигнута не только за счёт снижения себестоимости, но и за счёт увеличения ассортимента выпускаемой продукции и, что наиболее важно, за счёт возможности выпуска минимальных объёмов партий.

Литература

1. Оснос С.П., Котлицкая Ю.И. Энергосбережение при применении современных волокнистых огнеупорных и теплоизоляционных материалов и систем отопления в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.basaltfm.com/ru/articles/article07.html>.

УДК 621.577

СИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Маринович А.Н., магистрант

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Энергетическая эффективность применения парокompрессионных теплонасосных установок (ТНУ) в качестве источников теплоснабжения (теплохладоснабжения) доказана давно. Однако практическое использование в государствах СНГ ТНУ получили только в последние годы в дефицитных по топливу регионах и на объектах, где применению тепловых насосов оказывается государственная поддержка. Утилизация сбросной низкопотенциальной теплоты определяет энергетические, экономические и экологические преимущества ТНУ, однако потребление электроэнергии компрессором ТНУ существенно эти преимущества ограничивает вследствие двойной трансформации энергии (преобразование теплоты в электроэнергию на тепловых электростанциях и обратное её преобразование в теплоту в тепловом насосе).

Проведенный в [1] системный анализ энергетической эффективности ТНУ показывает, что целесообразность применения этих установок зависит от состояния и технического уровня развития энергетики страны, в которой они применяются.

Представим энергетический баланс ТНУ в виде

$$Q_{\text{отп}}^{\text{ТНУ}} = Q_{\text{иск}}^{\text{ТНУ}} + N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{отп}}^{\text{ТНУ}}$, $Q_{\text{иск}}^{\text{ТНУ}}$ – отпущенная потребителю теплота и исходная низкопотенциальная утилизируемая теплота;

$N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}}$ – мощность, потребляемая ТНУ, включая мощность компрессора ТНУ, и затраты электроэнергии на собственные нужды ТНУ.

При этом коэффициент преобразования энергии в ТНУ

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТНУ}}}{N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}}} = \frac{Q_{\text{иск}}^{\text{ТНУ}} + N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}}}{N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}}} \quad (2)$$

зависит от уровня температур низкопотенциальной и отпускаемой теплоты, а также технологической схемы установки.

Для достоверности технико-экономических расчетов, коэффициент системной эффективности теплогенерирующих установок должен учитывать полный расход первичных энергоресурсов, в том числе расход теплоты топлива на замыкающей КЭС энергосистемы.

При оценке системной эффективности ТНУ возможны разные подходы к учёту утилизируемой низкопотенциальной теплоты: вплоть до полного ее исключения. Однако поток этой теплоты нужно собрать, очистить и доставить к ТНУ, что требует определённых затрат, а низкопотенциальные тепловые отходы промышленности можно полезно использовать. С учетом сказанного, на используемую в ТНУ низкопотенциальную теплоту может устанавливаться цена. В [1] предлагается ее учитывать коэффициентом $\xi_{\text{иск}}$, тогда формула для расчёта коэффициента системной эффективности ТНУ с учётом (1)–(2) принимает вид:

$$K_{\text{ТНУ}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТНУ}}}{Q_{\text{иск}}^{\text{ТНУ}} \xi_{\text{иск}} + Q_{\text{топл}}^{\text{КЭС}}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТНУ}}}{N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}} (1 - \varepsilon) \xi_{\text{иск}} + N_{\text{э}}^{\text{ТНУ}} (1 + \alpha_{\text{сн}}^{\text{ТНУ}}) (1 + \alpha_{\text{лэп}}) / \eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} = \frac{1}{(1 - \varepsilon) \xi_{\text{иск}} + (1 + \alpha_{\text{сн}}^{\text{ТНУ}}) (1 + \alpha_{\text{лэп}}) / \eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} \quad (3)$$

Коэффициент системной эффективности альтернативной котельной определим как:

$$K_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{кот}}}{Q_{\text{топл}}^{\text{кот}} + Q_{\text{топл}}^{\text{КЭС}}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{кот}}}{\frac{Q_{\text{отп}}^{\text{кот}}}{\eta_{\text{кот}}} + Q_{\text{отп}}^{\text{кот}} \alpha_{\text{сн}}^{\text{кот}} (1 + \alpha_{\text{лэп}}) / \eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} = \frac{1}{1/\eta_{\text{кот}} + \alpha_{\text{сн}}^{\text{кот}} (1 + \alpha_{\text{лэп}}) / \eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} \quad (4)$$

В формулах (3) – (4):

$\alpha_{\text{лэп}}$ – доля потерь электроэнергии в электросетях;

$\alpha_{\text{сн}}^{\text{ТНУ}}$ – доля расхода электроэнергии на собственные нужды ТНУ;

$\eta_{\text{кот}}$, $\alpha_{\text{сн}}^{\text{кот}}$ – КПД котлов альтернативной котельной и доля расхода электроэнергии на собственные нужды котельной;

$\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}$ – КПД замыкающей КЭС энергосистемы.

В проведенных расчетах значения коэффициента преобразования энергии в ТНУ и экономического коэффициента низкопотенциальной сбросной теплоты принимались в диапазоне $\varepsilon = 2,5-5$; $\xi_{\text{иск}} = 0-0,3$. Результаты расчетов показывают, что значение $K_{\text{ТНУ}}$ зависит от варьируемых показателей: снижаясь при понижении ε и росте $\xi_{\text{иск}}$ [1]; существенным является также влияние $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}$.

Для ТНУ с наиболее характерными значениями $\varepsilon = 3,0-4,0$ в зависимости от $\xi_{\text{иск}}$ величина $K_{\text{ТНУ}}$ превышает $K_{\text{кот}}$:

- в 1,15–1,5 раза при $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,4$;
- в 1,4–1,9 раза при $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,5$;
- в 1,5–2,0 раза при $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,55$.

В [1] отмечается, что в середине прошлого столетия при КПД КЭС на начальные параметры пара 90 ата и 500 °С порядка $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} \approx 25\%$ $K_{\text{ТНУ}}$ во всем указанном диапазоне изменения ε даже при $\xi_{\text{иск}} = 0$ оказывался ниже $K_{\text{кот}}$ в 1,05–1,4 раза. Значит, в тот период ТНУ не имели системного энергетического преимущества перед котельными, что отражалось на формировании негативного отношения к ТНУ у части специалистов-энергетиков.

Рассмотрим, как меняется значение коэффициента системной эффективности ТЭЦ при переходе от паротурбинных к парогазовым технологиям, как на самих ТЭЦ, так и на замыкающих КЭС энергосистемы.

Коэффициент системной эффективности ТЭЦ можно представить в виде

$$K_{\text{ТЭЦ}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}}{Q_{\text{топл}}^{\text{ТЭЦ}} - Q_{\text{топл}}^{\text{э}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{топл}}^{\text{ТЭЦ}}$, $Q_{\text{топл}}^{\text{э}}$ – полный расход теплоты топлива на ТЭЦ и часть этого расхода теплоты, относимая на выработку электроэнергии.

Если отнести весь эффект от теплофикации на отпуск теплоты $Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}$, то есть принять расход теплоты топлива, относимый на производство электроэнергии теплофикационной паротурбинной установкой (ПТУ-ТЭЦ), равным расходу топлива на производство такого же количества электроэнергии на замыкающей КЭС с КПД $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}$, то

$$\begin{aligned}
 K_{\text{ГТУ-ТЭЦ}} &= \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}}{\left(N_{\text{тф}}/\eta_{\text{тф}}^{\text{ТЭЦ}} + N_{\text{к}}/\eta_{\text{к}}^{\text{ТЭЦ}} + Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}/\eta_{\text{Q}}^{\text{ТЭЦ}} \right) - (N_{\text{тф}} + N_{\text{к}})/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} = \\
 &= \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}}{\left(W_{\text{тф}}/\eta_{\text{тф}}^{\text{ТЭЦ}} + \bar{N}_{\text{к}}/\eta_{\text{к}}^{\text{ТЭЦ}} + 1/\eta_{\text{Q}}^{\text{ТЭЦ}} \right) - (W_{\text{тф}} + \bar{N}_{\text{к}})/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}} = \\
 &= \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ТЭЦ}}}{W_{\text{тф}}(1/\eta_{\text{тф}}^{\text{ТЭЦ}} - 1/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}) + \bar{N}_{\text{к}}(1/\eta_{\text{к}}^{\text{ТЭЦ}} - 1/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}) + 1/\eta_{\text{Q}}^{\text{ТЭЦ}}}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где $\eta_{\text{тф}}^{\text{ТЭЦ}}, \eta_{\text{к}}^{\text{ТЭЦ}}$ – КПД производства электроэнергии в теплофикационном и конденсационном циклах на ТЭЦ;

$\eta_{\text{Q}}^{\text{ТЭЦ}}$ – КПД производства теплоты на ТЭЦ;

$N_{\text{тф}}, N_{\text{к}}$ – теплофикационная и конденсационная мощности турбоустановки (при этом полная мощность турбоустановки на клеммах генератора $N_{\Sigma} = N_{\text{тф}} + N_{\text{к}}$);

$W_{\text{тф}}$ – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении;

$\bar{N}_{\text{к}}$ – удельная конденсационная мощность турбоустановки, приходящаяся на единицу отпускаемой от ТЭЦ теплоты.

Расчеты показывают, что на режиме теплового графика коэффициент системной эффективности паротурбинных ТЭЦ превышает значение коэффициента системной эффективности котельных в 2–3 раза при паротурбинной замыкающей КЭС с $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,4$ и в 1,35–1,55 раза при парогазовой замыкающей КЭС с $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,55$. Большие значения $K_{\text{ГТУ-ТЭЦ}}$ соответствуют более высоким значениям начальных параметров пара и, соответственно, удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении $W_{\text{тф}} = 0,55$.

Аналогично коэффициент системной эффективности газотурбинной ТЭЦ (когенерационной ГТУ) можно представить в виде

$$K_{\text{ГТУ-ТЭЦ}} = \frac{Q_{\text{отп}}^{\text{ГТУ-ТЭЦ}}}{N_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}/\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} - N_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}}. \quad (7)$$

Можно показать, что отпуск теплоты $Q_{\text{отп}}^{\text{ГТУ-ТЭЦ}}$ от ГТУ мощностью $N_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}$ определяется ее КПД $\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}$ и КПД котла-утилизатора $\eta^{\text{КУ}}$

$$Q_{\text{отп}}^{\text{ГТУ-ТЭЦ}} = N_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}/\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} (1 - \eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}/\eta_{\text{зам}}^{\text{ГТУ}})\eta^{\text{КУ}}, \quad (8)$$

тогда

$$K_{\text{ГТУ-ТЭЦ}} = \frac{(1 - \eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}/\eta_{\text{зам}}^{\text{ГТУ}})\eta^{\text{КУ}}/\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}}}{1/\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} - 1/\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}}}. \quad (9)$$

При $\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} = 0,33-0,35$ и $\eta^{\text{КУ}} = 0,75-0,85$ в случае паротурбинной замыкающей КЭС с $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,4$ системная эффективность ГТУ-ТЭЦ выше котельных в 3–5 раз; в случае парогазовой замыкающей КЭС с $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,55$ системная эффективность ГТУ-ТЭЦ снижается и превышает системную эффективность котельных только в 1,4–1,7 раз.

В случае парогазовой замыкающей КЭС (ПГУ-КЭС) с $\eta_{\text{зам}}^{\text{КЭС}} = 0,55$ системная эффективность парогазовых ТЭЦ (ПГУ-ТЭЦ) выше котельных:

- в 1,5–2 раза для ПГУ-ТЭЦ на базе ГТУ с $\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} = 0,34$ и двухконтурным котлом-утилизатором (аналог ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3);

- примерно в 4 раза для перспективных ПГУ-ТЭЦ с трехконтурными котлами-утилизаторами на базе наиболее экономичных ГТУ с $\eta_{\Sigma}^{\text{ГТУ}} = 0,38$.

Как видно из проведенного анализа, при низкой эффективности производства электроэнергии на КЭС, парокомпрессионные ТНУ не имеют энергетического преимущества перед обычными котельными ни в части эффективности использования топлива, ни в части сокращения выхода сбросного низкопотенциальной теплоты в окружающую среду. С ростом эффективности тепловых электростанций, в том числе за счет применения на них парогазовых технологий, энергетическая эффективность ТНУ существенно повышается, и эти установки должны закономерно находить все более широкое практическое применение.

Литература

1. Трутаев, В.И. Системный анализ эффективности теплонасосных установок // Энергия и менеджмент, 2011. – № 4. – С. 2–9.

УДК 621.18-5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ ЭНЕРГБЛОКА НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ЗА КОТЛОМ

Маркова А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Основная задача состоит в том, чтобы всеми известными способами добиться улучшения качества регулирования в широком диапазоне изменения нагрузки. Одним из способов является применение комбинированной системы автоматического регулирования с полной и неполной моделями модифицированного линейного упредителя Смита.

Задан диапазон изменения нагрузок от 100 до 30 % (газозащитный котел). Исходные данные по динамике опережающего и инерционного участков объекта регулирования заданы для 100 % нагрузки, поэтому динамику на промежуточных нагрузках рассчитываем для 30 % нагрузки котла.

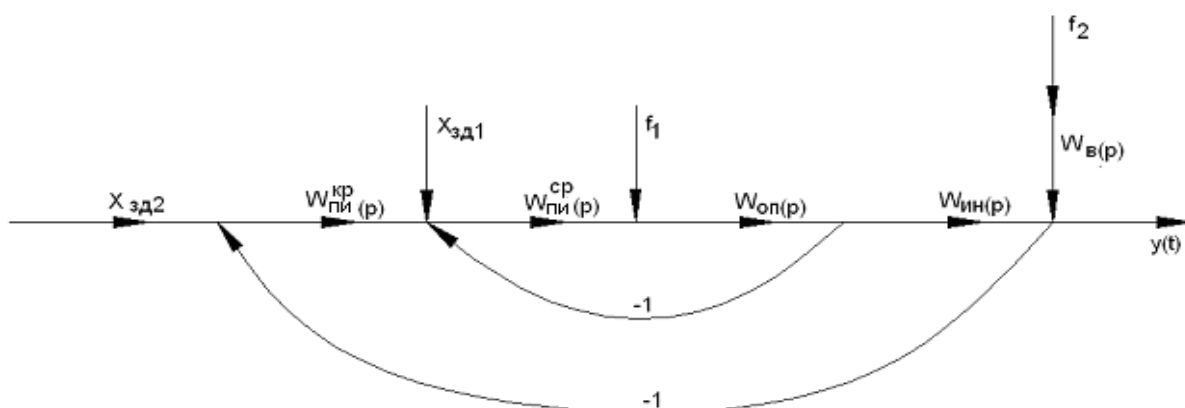


Рисунок 1 – Структурная схема каскадной системы автоматического регулирования (КСАР)

При изменении нагрузки энергоблока получаем различные объекты регулирования, для получения качественной работы каждого из которых необходимы соответствующие настройки регулятора. Рассчитаем базовую настройку для номинальной нагрузки энергоблока [1]:

Стабилизирующий регулятор:

$$T = \frac{T_{on}}{\sigma_{on}}, \quad (1)$$

$$K = Kp_1 \cdot Kon \quad (2)$$

$$Kp_1 = \frac{K}{Kon}, \quad (3)$$

$$I = \frac{Tu_1}{\sigma_{on}} = \frac{6,36 \cdot K}{T \cdot (1 + 1/T)^3} \quad (4)$$

$$Tu_1 = I \cdot \sigma_{on}, \quad (5)$$

Корректирующий регулятор:

$$Kp_2 = \frac{T_k}{2K_{ин} \cdot \tau_y}, \quad (6)$$

$$Tu_2 = T_k, \quad (7)$$

Перейдем со 100 % на новую нагрузку – 30 %. Сравним отработку основных возмущений при 100 % и 30 % нагрузки при постоянном и скользящем давлении пара перед турбиной и проведем оптимизацию САР при 30 % нагрузке.

Графики переходных процессов имеют следующий вид:

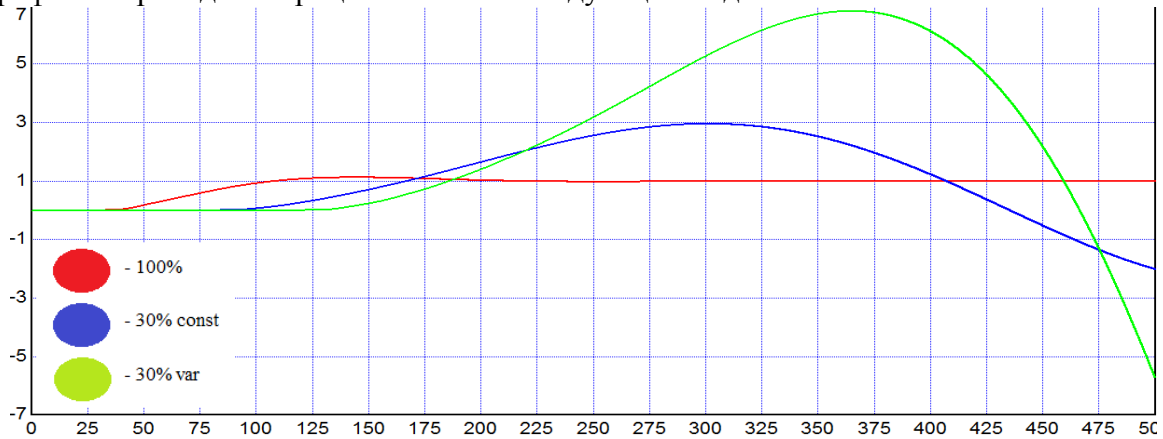


Рисунок 2 – Отработка скачка задания

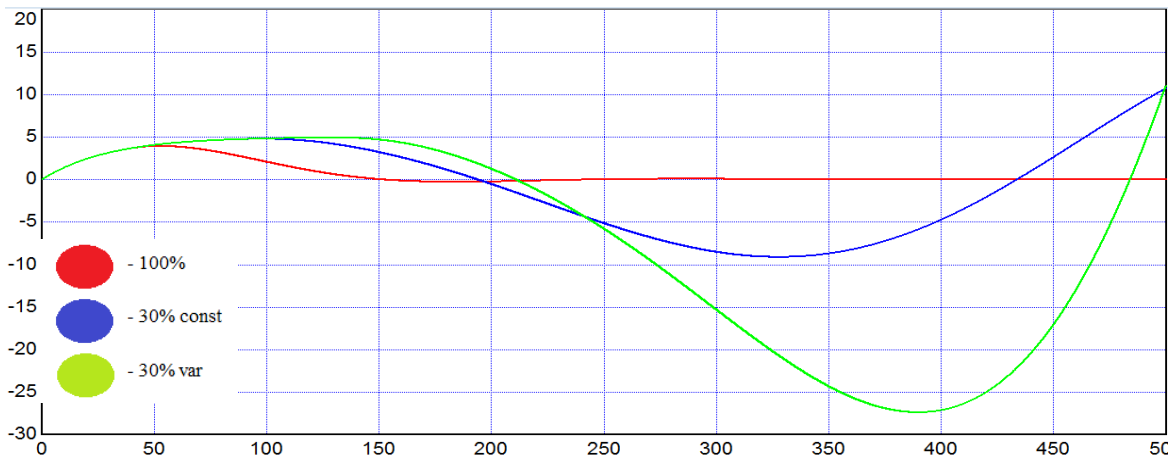


Рисунок 3 – Отработка крайнего внешнего возмущения

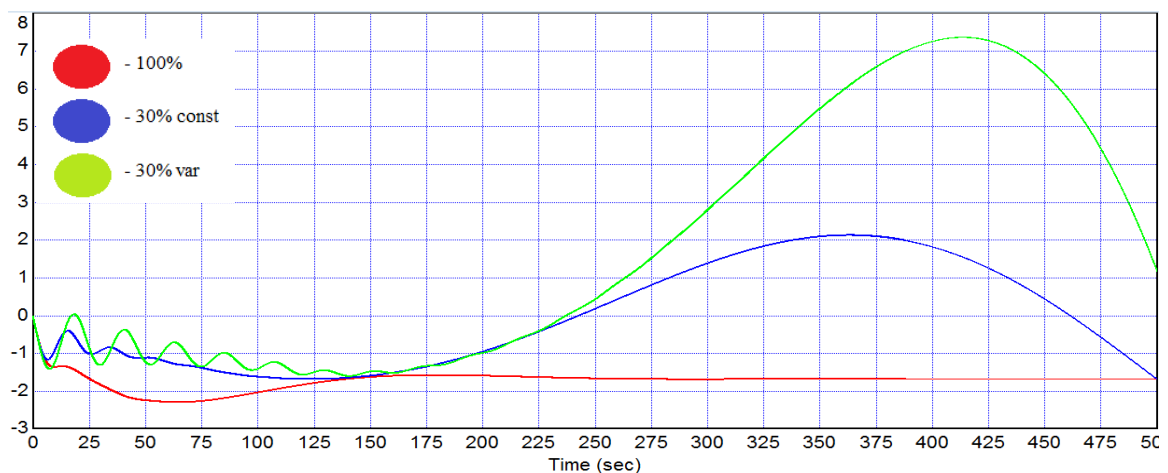


Рисунок 4 – Регулирующее воздействие стабилизирующего регулятора при крайнем внешнем возмущении

Как видно из полученных графиков, настройка системы, соответствующая своей нагрузке блока, дает лучшие результаты, чем при ее работе с другой нагрузкой (объектом), система даже может пойти в разнос. Поэтому при использовании компромиссных настроек работы САР необходима оптимизация для улучшения работы и достижения необходимого

качества регулирования процессов. За базу для сравнения результатов возьмем отработку для объекта 100% нагрузки с настройкой регуляторов на 100 %.

Расчет комбинированной САР (ККСАР) при 30 % нагрузке.

Настройка стабилизирующего регулятора [2]:

$$Wz\partial_1(p) = \frac{1}{Tz\partial_1 \cdot p + 1} \tag{8}$$

$$Wp_1^{opt} = \frac{1}{Won(p)} \cdot \frac{Wz\partial_1(p)}{1 - Wz\partial_1(p)} = \frac{1}{Won(p) \cdot Tz\partial_1 \cdot p} = \frac{T^*on \cdot p + 1}{Kon \cdot Tz\partial_1 \cdot p} \cdot \frac{T^*on}{T^*on} \tag{9}$$

$$Tu_1 = T^*on = Ton + \sigma_{on}, \tag{10}$$

$$Kp_1 = \frac{T^*on}{Kon \cdot Tz\partial_1}, \tag{11}$$

$$Tz\partial_1 = [0,146..1]T^*on \text{ по ПЗС} \tag{12}$$

Настройка корректирующего регулятора по передаточной функции эквивалентного объекта, учитывающую динамику внутреннего контура с использованием полной и неполной моделей модифицированного линейного упределителя Смита:

$$Wz\partial_2(p) = \frac{1}{(Tz\partial_2 p + 1)^3} \tag{13}$$

$$Wp_2(p) = \frac{(T_{ин}p + 1) (\sigma_{ин} \cdot p + 1) [(Tz\partial_1 p + 1)]}{3K_{ин} \cdot Tz\partial_2 p \left(\frac{Tz\partial_2^2}{3} \cdot p^2 + Tz\partial_2 p + 1 \right)} \tag{14}$$

$$Tz\partial_2 = [0,146..1](\sigma_{он} + Tz\partial_1) \text{ по ПЗС} \tag{15}$$

Сравним отработку базовой настройки регулятора с настройкой на 30% и ККСАР:

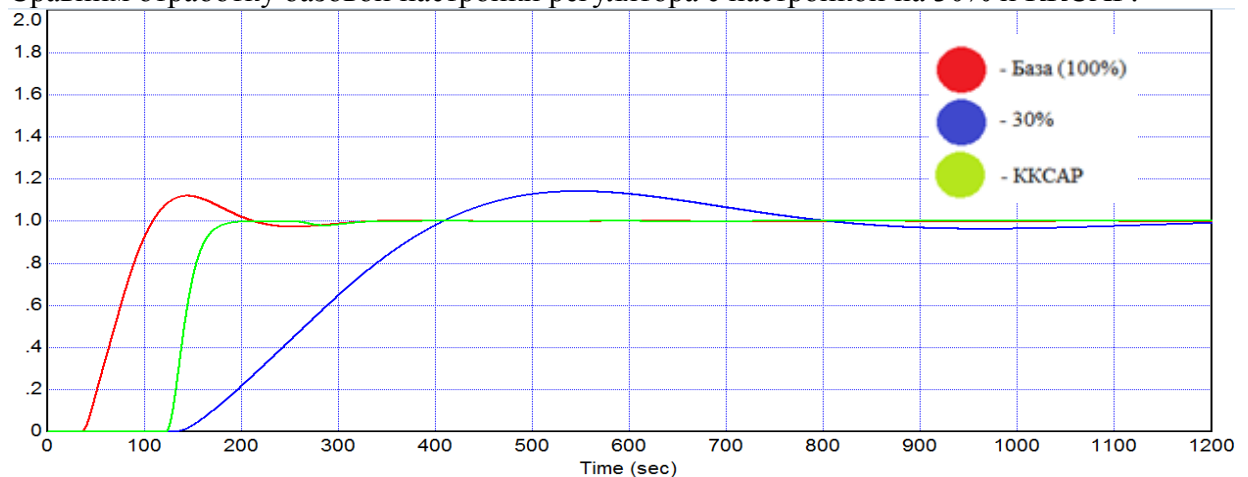


Рисунок 5 – Отработка скачка задания

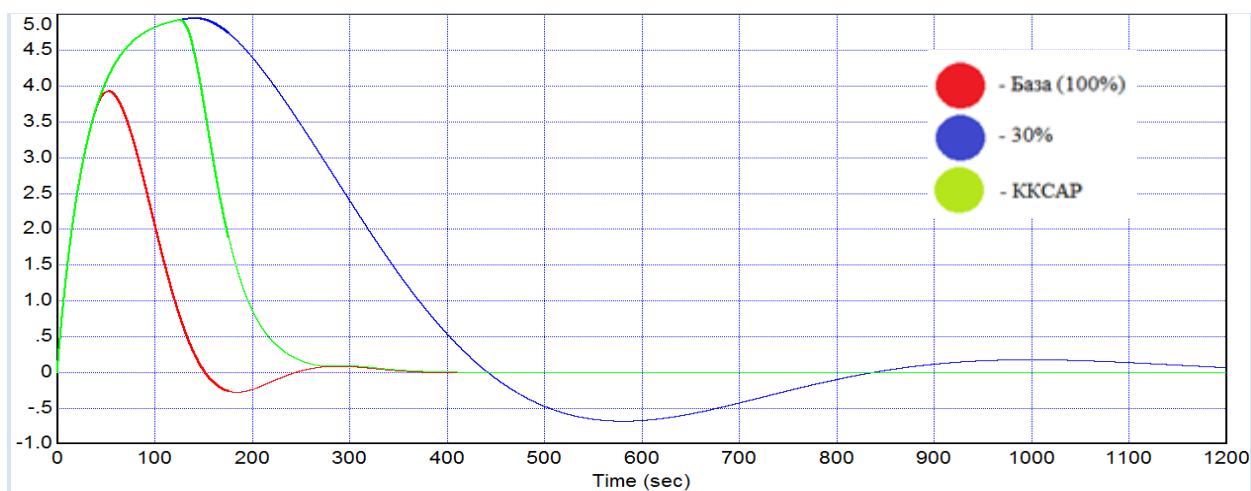


Рисунок 6 – Оработка крайнего внешнего возмущения

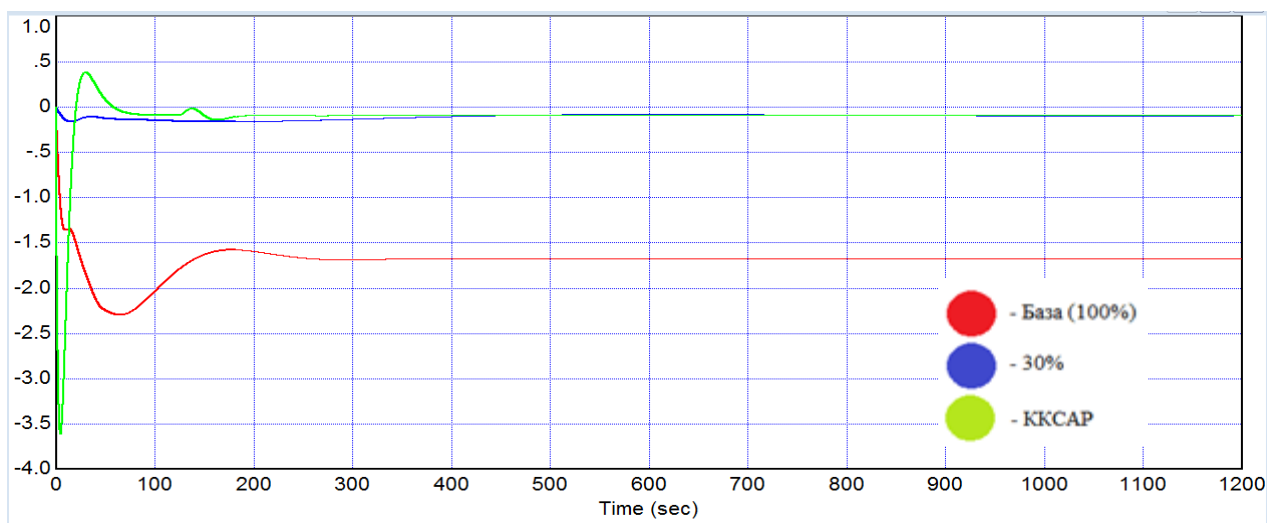


Рисунок 7 – Регулирующее воздействие стабилизирующего регулятора при крайнем внешнем возмущении

Выводы

Постоянная настройка параметров динамической настройки КСАР не обеспечивает требуемого качества регулирования в широком диапазоне изменения нагрузок, при низких нагрузках САР теряет устойчивость.

Для сохранения требуемого качества регулирования в широком диапазоне изменения нагрузок от 100 до 30 % необходимо корректировать параметры динамической настройки САР в зависимости от уровня нагрузки энергоблока с помощью устройства коррекции параметров оптимальной динамической настройки.

Литература

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Спр. пособие. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Учеб. Пособие. – Мн.: Технопринт, 2003. – 135 с.

УДК 621.18-5

ОПТИМИЗАЦИЯ САР ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Мишота О.И.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

При сжигании топлива очень важно правильно регулировать поступление воздуха в топку котла. Если воздуха в топку котла будет поступать мало, то кислорода не будет хватать для полного сгорания топлива, и часть горючих газов, образующихся в топке котла (например, окись углерода CO), и несгоревшие частицы угля будут уноситься с продуктами горения в дымовую трубу. Неполноту сгорания топлива можно заметить по появлению черного дыма из дымовой трубы. Очевидно, что такое сжигание вызывает излишнюю трату топлива.

Действительное количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, должно быть несколько большим теоретического, так как при практическом сжигании топлива не все количество теоретически необходимого воздуха используется для горения топлива; часть его не участвует в реакции горения в результате недостаточного перемешивания воздуха с топливом, а также из-за того, что воздух не успевает вступить в соприкосновение с углеродом топлива и уходит в газоходы котла в свободном состоянии. Отношение количества воздуха, подаваемого в топку, к количеству воздуха, теоретически необходимого для полного сжигания топлива, называется коэффициентом избытка воздуха α . Оптимальные $\alpha_{\text{опт}}$ должно быть больше 1.

Поддержание расхода воздуха, обеспечивающего наиболее экономичное сжигание топлива, самым простым и правильным было бы строить схему на измерении расходов топлива и воздуха с последующим их поддержанием на заданном соотношении. Но характеристики топлива не постоянны, а расход топлива не всегда можно измерить достаточно точно, особенно твердого. Эти причины привели к созданию нескольких вариантов АСР расхода общего воздуха, в которых используются различные косвенные показатели расхода топлива или тепловыделения в топке и различные косвенные показатели экономичности процесса горения. Такие системы регулирования получили название каскадных с корректирующим и стабилизирующим регуляторами. В них стабилизирующий регулятор поддерживает заданное соотношение топливо-воздух, а корректирующий регулятор меняет соотношение в зависимости от экономичности процесса горения.

За основу возьмем каскадную САР (КСАР) с ПИ-законом регулирования, схема которой изображена на рисунке 1.

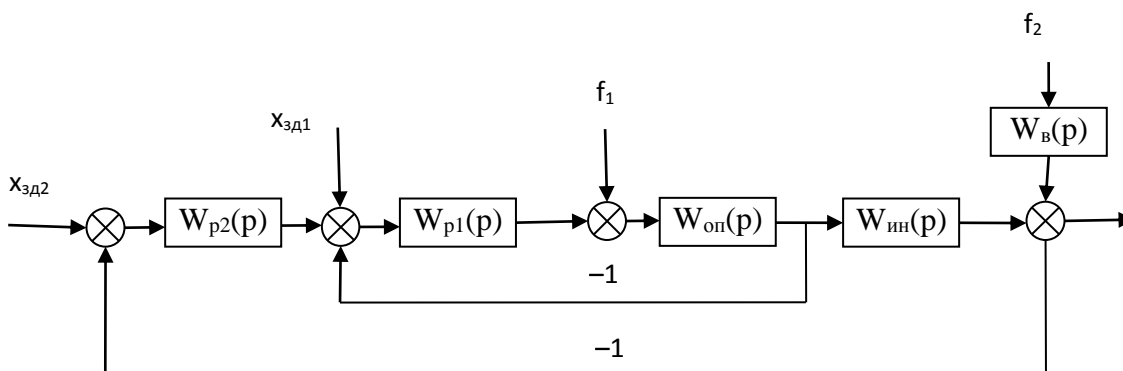


Рисунок 1 – Схема КСАР

Принято считать, что измерение только концентрации кислорода в дымовом газе недостаточно: оптимальный режим работы печи определяется одновременными измерениями как кислорода, так и остаточного количества горючих компонентов. Под горючими компонентами обычно подразумевают монооксид углерода CO и водород H_2 , являющиеся продуктами частичного окисления углеводородов. Основную долю горючих

компонентов составляет CO. В связи с этим при оптимизации режимов горения часто говорят об измерении «кислорода и CO» в дымовом газе. Поэтому рассмотрим и сравним две схемы КСАР: с измерением кислорода и CO, с измерением только кислорода.

Результаты моделирования переходных процессов показаны на рисунках 2,3,4.

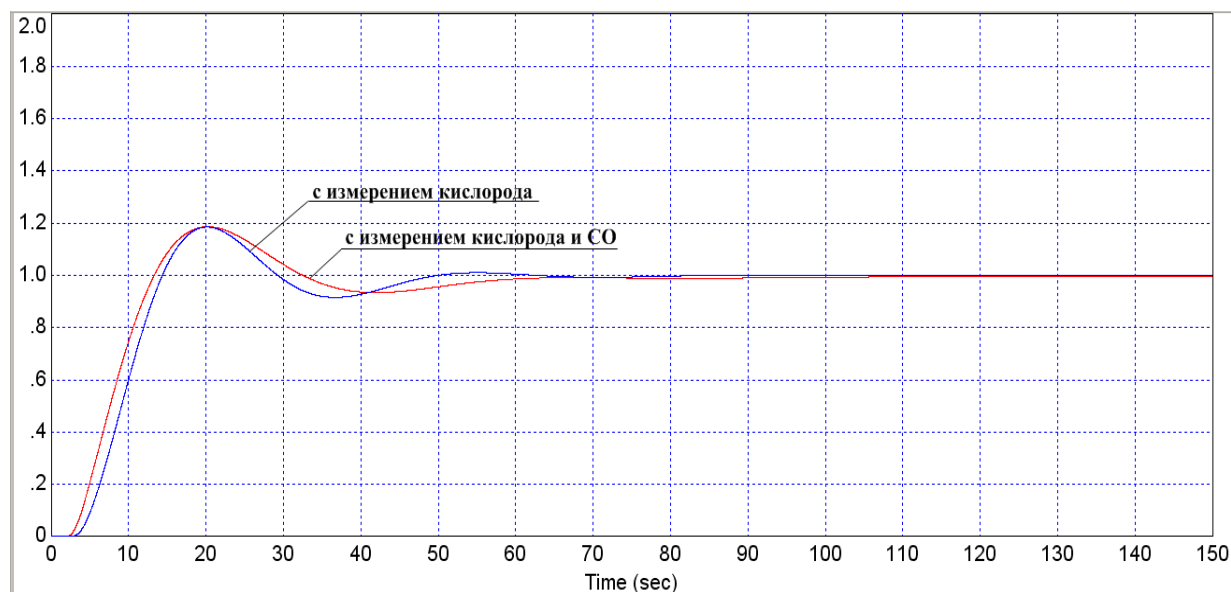


Рисунок 2 – График переходного процесса при отработке скачка задания

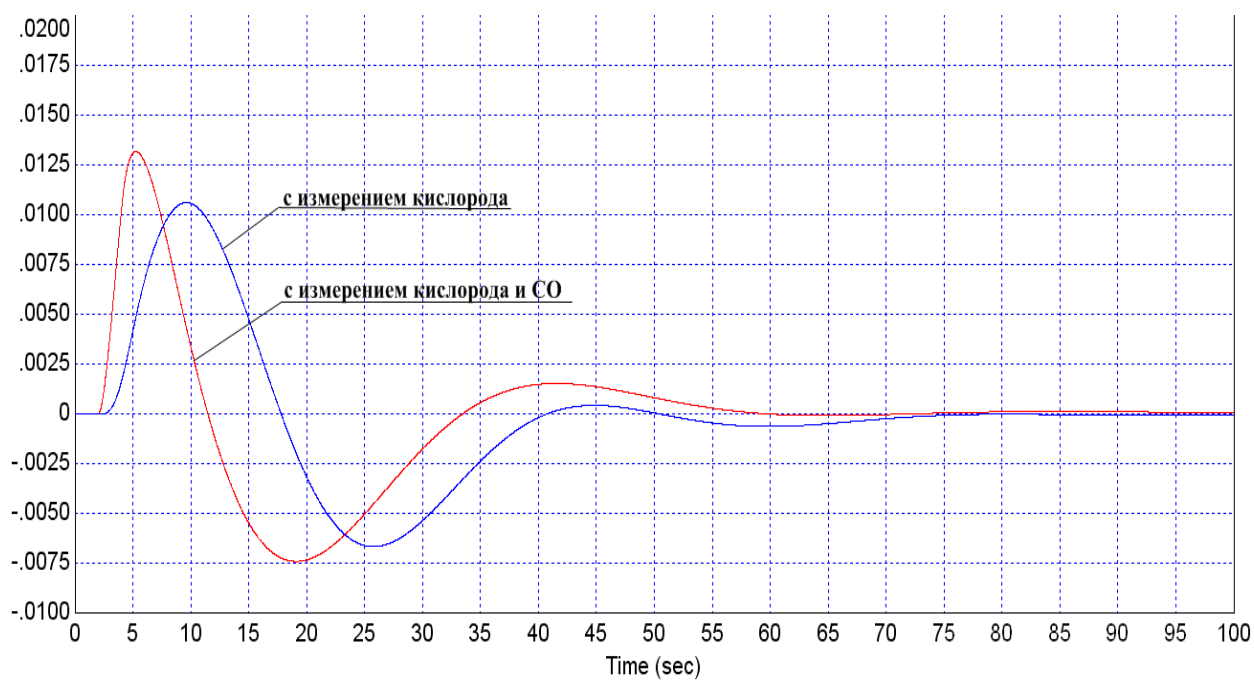
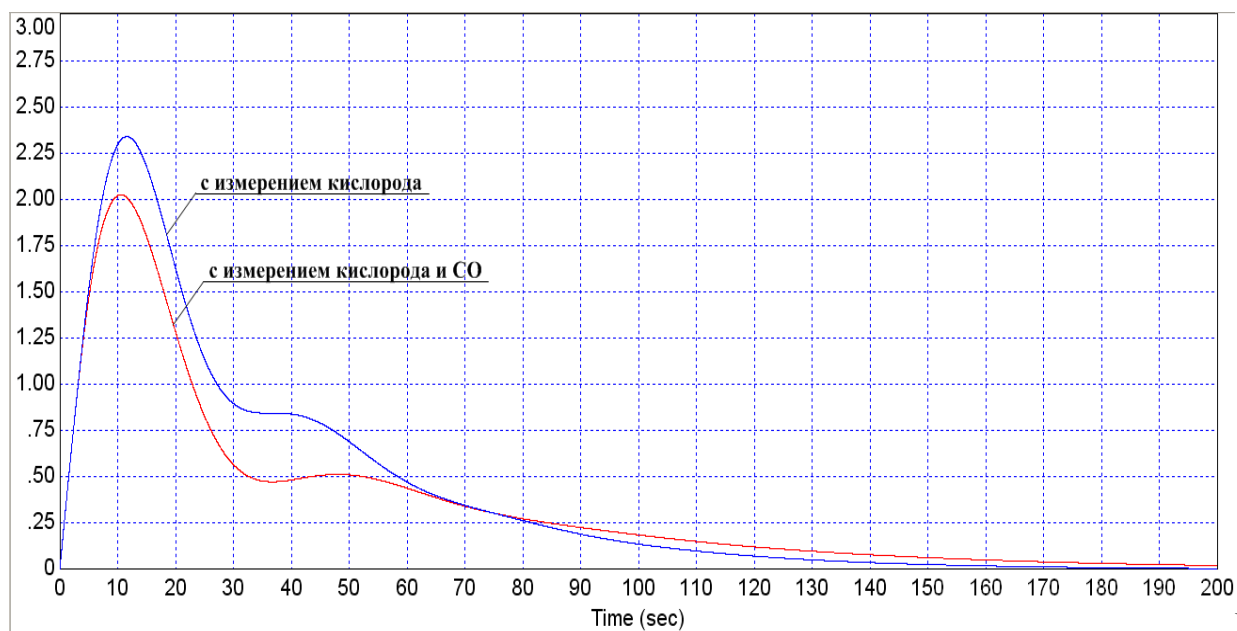


Рисунок 3 – График переходного процесса при отработке внутреннего возмущения



Рис

унок 4 – График переходного процесса при отработке крайнего внешнего возмущения

Таблица 1 – Основные ППК

	$X_{зд}$		f_1		f_2	
	t_p, c	$\sigma, \%$	t_p, c	A_1^+	t_p, c	A_1^+
С измерением кислорода и CO	58,3	18	0	0,013	141,8	2,08
С измерением кислорода	45,6	18	0	0,011	137,9	2,29

Выводы

Наилучший результат, достигнут при использовании разности $O_2 - CO$ при отработке крайнего внешнего возмущения амплитуда уменьшается на 10 %, чем только с измерением кислорода. Значит использование анализаторов кислорода и CO вместе эффективнее, чем только анализатора кислорода.

Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. 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 / Г.Т. Кулаков. – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.

УДК 621.311

КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДИСКОВ И ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ПАРОВЫХ ТУРБИН И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Пантелей В.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Коррозионные повреждения рабочих лопаток различной интенсивности в виде язвенной напряженности (часто связанных с полочками лопаток) выявлены в зоне фазового перехода (зона влажного пара от состояния, сухого насыщенного пара до влажности порядка 6 %) практически коррозии, коррозионной усталости и коррозионного растрескивания под и на всех типах конденсационных и теплофикационных турбин как без промперегрева, так и с промперегревом, работающих с барабанными и прямоточными котлами. Коррозионные повреждения лопаточного аппарата обычно локализуются в начальной зоне фазового перехода, однако при существенном ухудшении качества свежего пара перед турбиной могут подвергаться коррозионным повреждениям рабочие лопатки всех ступеней, работающих в области влажного пара.

Можно констатировать, что коррозионные повреждения рабочих лопаток турбин в зоне фазового перехода появляются на тех тепловых электростанциях, где по разным причинам не обеспечивается необходимый уровень качества свежего пара перед турбинами. В этих условиях коррозионная повреждаемость зависит также от длительности эксплуатации турбин и может проявляться уже при небольшой наработке.

У большинства турбин в зоне фазового перехода (ЗФП) используются насадные диски.

Наиболее распространенными местами коррозионного растрескивания дисков являются зоны: продольного шпоночного паза (85 %), разгрузочных отверстий (80 %), заклепочных соединений (30 %), ступичной части и полотна диска (10 %). На отдельных турбинах обнаруживали повреждения одновременно нескольких дисков и на одном диске несколько зон повреждений. Заготовки дисков паровых турбин в зависимости от требований, предъявляемых к ним по условиям работы, изготавливаются пяти категорий прочности из перлитных сталей (хромоникельмолибденовых и хромоникельмолибденованадиевых) в соответствии с требованиями ТУ 108.1028-31. Каждая заготовка диска подвергается ультразвуковому контролю с помощью прямых и призматических искателей.

Причины возникновения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата 1 Качество свежего пара перед турбинами

Одной из причин возникновения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата является качество свежего пара. Процесс коррозионного повреждения элементов проточной части турбины в зоне фазового перехода комбинированный и протекает в присутствии коррозионно-агрессивных примесей в свежем паре и при повышенных механических напряжениях.

Коррозионно-агрессивными примесями свежего пара являются соединения натрия (NaCl , NaOH , Na_2SO_4), NH_4Cl , соединения кальция и магния (CaCl_2 , MgCl_2), оксиды меди и железа высших степеней валентности (CuO и Fe_2O_3), органические и неорганические кислоты. Хлориды и сульфаты выполняют роль депассиваторов, разрушающих защитную пленку на поверхности металла; ионы трехвалентного железа и двухвалентной меди являются деполаризаторами, стимулирующими развитие локальных коррозионных процессов; ионы натрия в особенности при наличии едкого натра вызывают межкристаллитное коррозионное растрескивание. Органические соединения вносят с собой хлориды, сульфаты, натрий, кремниевую кислоту и др. Продукты термоллиза органических соединений способны понижать рН первичного конденсата, стимулируя интенсивность коррозионных повреждений металла в зоне фазового перехода. Коррозионные повреждения элементов проточной части турбины происходят в результате общей и язвенной коррозии,

коррозионной усталости (преимущественно рабочие лопатки), коррозионного растрескивания под напряжением (в основном диски).

Повышение температуры первичного конденсата в ЗФП интенсифицирует коррозионный процесс в проточной части турбины. При увеличении температуры среды в диапазоне ее рабочих значений от 70 до 140 °С скорость роста трещин возрастает почти на два порядка.

Для определения качества первичного конденсата в ЗФП могут быть использованы пробоотборные устройства НПО ЦКТИ, концентраторы и сепараторы ВТИ.

Целью химического контроля является быстрое выявление любых отклонений показателей качества теплоносителя от установленных для данного ВХР и причин этих отклонений с целью принятия мер по их ликвидации.

Основной причиной ухудшения качества пара прямоточных котлов на энергоблоках СКД является ухудшение качества питательной воды из-за: подачи части турбинного конденсата помимо БОУ через байпас; несвоевременного переключения конденсата греющего пара сетевых подогревателей в тракт перед БОУ при появлении присосов сетевой воды; использования как добавочной воды дистиллата низкого качества испарителей без доочистки на БОУ; ухудшения качества обессоленного конденсата вследствие; присосов охлаждающей воды в конденсаторах; нарушения норм качества обессоленной добавочной воды; попадания масляных паров в турбинный конденсат через систему концевых уплотнений турбины, замасливания фильтрующих материалов БОУ и снижения их эффективности, образования в паре органических кислот при разложении попавших в него масляных загрязнений; нарушения регламента работы БОУ (несвоевременное отключение ионообменных фильтров на регенерацию, некачественная отмывка фильтров).

Причинами ухудшения качества питательной воды являются: присосы охлаждающей воды в конденсаторах турбин; присосы сетевой воды в подогревателях сетевой воды и других теплообменниках, охлаждаемых сырой водой; неэффективная очистка возвратного замасоченного конденсата на установках, выполненных по схеме Na-катионирования; низкое качество добавочной воды, обусловленное неудачными проектными решениями, нарушениями режима эксплуатации ВПУ и др.; низкое качество дистиллата испарителей, используемого в качестве добавочной воды; использование конденсата, возвращенного с производства и содержащего потенциально кислые или щелочные соединения; неэффективное удаление углекислоты в деаэраторах и теплообменниках, обуславливающее повышенное содержание CO_2 в паре, уменьшение значения pH.

2 Коррозионная стойкость металла дисков и лопаток

Коррозионная повреждаемость дисков связана с механическими химическими свойствами стали. Насадные диски паровых турбин изготавливаются в основном из сталей 34ХН1М, 34ХН3М, 35ХН1М2ФА и 30Х2НМФА. Указанные стали имеют одинаковую сопротивляемость коррозионному растрескиванию. Установлено, что одним из путей повышения сопротивления коррозионному растрескиванию является снижение в стали вредных примесей, углерода и газов и уменьшение неоднородности их распределения в объеме металла между границами и телом зерна. Хороший результат получен также при внедрении процесса раскисления стали углеродом в вакууме (УВРВ).

Эксплуатация турбинных дисков с трещинами недопустима. Но для оценки периодичности осмотра предполагается, что сразу же после ввода в эксплуатацию проконтролированных дисков в них образуются трещины, которые начинают расти до критического размера, после чего возможно хрупкое разрушение диска.

Коррозионная стойкость лопаточных сталей

Как правило, зарождению коррозионно-усталостной трещины предшествует образование на поверхности лопаток коррозионных язв или питтингов, которое можно наблюдать задолго до разрушения лопаток. По степени изъязвления поверхности лопаток конкретных ступеней можно с определенной точностью прогнозировать их эксплуатационную надежность. Кроме того, имеется принципиальная возможность по

морфологии язв, их распределению судить о той коррозионно-активной среде, которая сформировалась на поверхности лопаток в данной зоне.

На рисунках 1 и 2 приведены номограммы, характеризующие склонность широко применяемой лопаточной стали 20X13Ш к питтингообразованию. С учетом условий эксплуатации лопаток 3-х и 4-х ступеней ЧНД турбин К-300-240 по степени их изъязвления с помощью этих номограмм установлено, что на поверхности этих лопаток концентрация хлоридов может превышать 100 мкг/см², а на лопатках 5-х ступеней этих турбин концентрация хлоридов обычно находится на уровне 10–100 мкг/см².

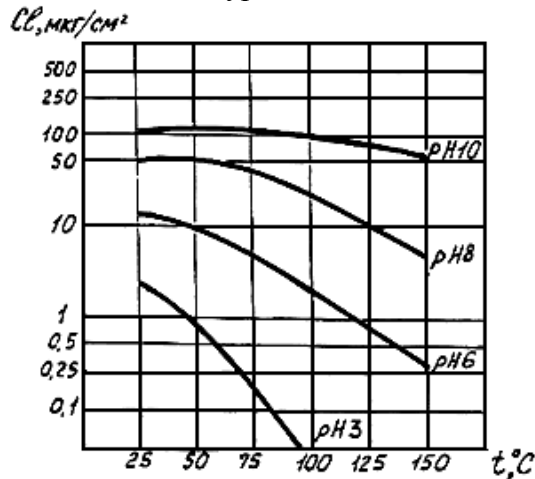


Рисунок 1 – Зависимость критической концентрации хлор-ионов от температуры и pH для стали 20X13Ш

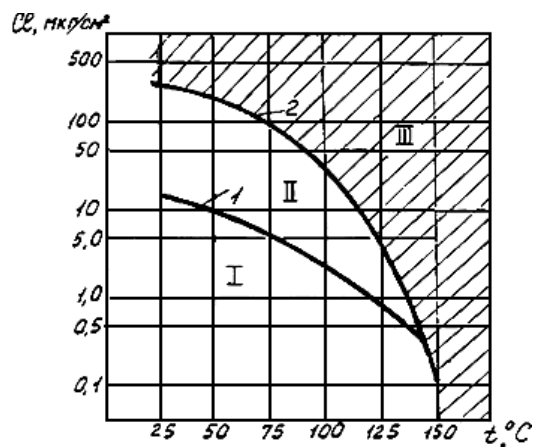


Рисунок 2 – Зависимость процесса коррозии стали 20X13Ш от концентрации хлор-ионов и температуры среды при pH 6: критическая концентрация хлоридов при: (1 – зарождении питтингов; 2 – активировании поверхности); зоны: I – отсутствия коррозионных повреждений; II – питтингообразования; III – активирования поверхности (общая коррозия)

Усталостная прочность лопаток существенно зависит от коррозионной поврежденности поверхности.

На рисунке 3 приведен график зависимости коэффициента влияния коррозионной поврежденности поверхности на усталостную прочность лопаточной стали от максимального диаметра язв. Предел усталостной прочности лопаток с коррозионными язвами диаметром до 3 мм ниже предела усталостной прочности новых лопаток в 2,5 раза. Плотность распределения язв не оказывает существенного влияния на усталостную прочность стали.

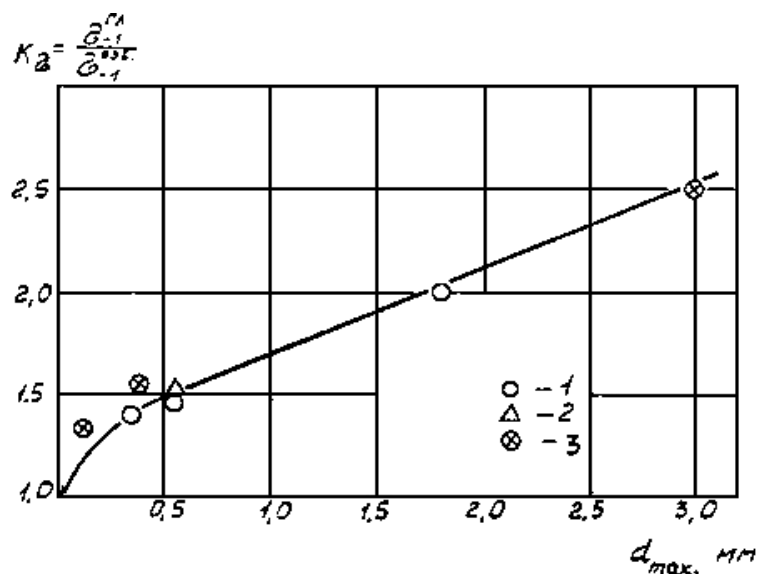


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента влияния коррозионной поврежденности поверхности на усталостную прочность стали 20X13Ш от максимального диаметра язв: результаты испытаний: образцов с искусственными коррозионными язвами длиной 5 мм (1), 4 шт./см² и 1 мм (2), 100 шт./см²; лопаток турбин с естественными коррозионными повреждениями (3)

В качестве критериев эксплуатационной надежности рабочих лопаток, работающих в зоне фазового перехода турбин, целесообразно принять степень коррозионной поврежденности поверхности, выраженную диаметром самых крупных язв и определенную расчетным либо опытным путем из данных анализа результатов исследования разрушенных в эксплуатации лопаток.

Для оценки коррозионного состояния поверхности лопаток необходимо использовать две шкалы: 1 – классифицирующую коррозионную поврежденность лопаток (табл. 1) по максимальному диаметру язв (для оценки степени снижения усталостной прочности лопаток); 2 – классифицирующую лопатки (табл. 2) по плотности распределения язв (для накопления информации, которая поможет со временем получить данные о состоянии коррозионной среды).

Таблица 1 – Шкала I. Максимальные размеры язв

Классификационная группа	Максимальный размер язв, мм	Коэффициент влияния коррозии $K = \sigma_{-1}^{пл} / \sigma_{-1}^{язв}$
1 балл	0,1	< 1,2
2 балл	0,1-0,5	1,2-1,5
3 балл	0,5-1,0	1,5-1,7
4 балл	1,0-2,0	1,7-2,1
5 балл	2,0-4,0	2,1-2,9
	И (или) травление поверхности	
6 балл	Общая коррозия с потерей профиля	> 2,9

Таблица 2 – Шкала II. Плотность распределения язв

Классификационная группа	Плотность язв, шт./см ²
А	до 2
Б	2-10
В	10-100
Г	более 100

3 Режимы эксплуатации энергетических установок и отклонения в условиях их работы

Температура свежего пара и промперегрева оказывает влияние на уровень температуры фазового перехода. Экспериментальные исследования отечественных и зарубежных авторов указывают на существенное влияние температуры среды на скорость протекания коррозионных процессов. Температура среды в зоне фазового перехода, в которой происходят коррозионные процессы, зависит от конструктивного выполнения турбины и параметров свежего пара и промежуточного перегрева пара.

Предотвращение коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата турбины:

1. Контроль за металлом насадных дисков.
2. Контроль за металлом рабочих лопаток.
3. Нормирование качества свежего пара перед турбинами.
4. Автоматизированный химический контроль за качеством свежего пара.
5. Применение ингибирующих присадок в пар перед зоной фазового перехода турбины.
6. Материал дисков и рабочих лопаток ступеней турбин в зоне фазового перехода при высокой минерализации исходной воды.
7. Консервация оборудования турбинных установок при их останове.

Литература

1. РД 34.30.507-912, М. изд-во ВТИ, 1993.
2. РД 34.37.303-88, М. изд-во ВТИ, 1993.
3. РД 34-20.591-87, М. ВТИ, 1987.

УДК 621.319.4

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ТУРБИН ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОФИКАЦИИ ГОРОДА

Пуныко Р.Л.

Научные руководители – старший преподаватель Романко В.А., ассистент Павловская А.А.

Теплоснабжение является одной из основных подсистем энергетики. На теплоснабжение народного хозяйства и населения расходуется около 1/3 всех используемых в стране первичных топливно-энергетических ресурсов. Основными направлениями совершенствования этой подсистемы являются концентрация и комбинирование производства теплоты и электрической энергии (теплофикация) и централизация теплоснабжения.

Рассмотрим АЭС, как источник тепловой энергии на теплоснабжение города-спутника на примере города Нововоронежа. Определим тепловые нагрузки данного промышленно-жилого района.

Определение максимального расхода теплоты на отопление промышленных предприятий, общественных и жилых зданий

Расход теплоты на отопление промышленных предприятий определяется из выражения (1):

$$Q_{OT}^{IP} = q \cdot V_{IP} \cdot (t_{BH} - t_{HO}) \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (1)$$

Максимальный расход теплоты на отопление производственных промышленных зданий вычисляется по формуле (2):

$$Q_{OT1}^{IP} = q^I \cdot V_{IP} \cdot (t_{BH} - t_{HO}) \cdot 10^{-3} = 0,7 \cdot 110000 \cdot (16 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 3,157 \text{ МВт}. \quad (2)$$

Максимальный расход теплоты на отопление непроизводственных промышленных зданий вычисляется по формуле:

$$Q_{OT2}^{IP} = q^{II} \cdot V_{IP} \cdot (t_{BH} - t_{HO}) \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 110000 \cdot (16 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 1,804 \text{ МВт}$$

Расход теплоты на отопление жилых зданий определяется с помощью выражения (3):

$$Q_{OT}^{ЖИЛ} = q_0 \cdot F \cdot m \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (3)$$

q – укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление зданий, Вт/м², зависит от расчетной температуры наружного воздуха t_{HO} , таблица 1 (промежуточные значения определяются интерполяцией).

Таблица 1 – Зависимость показателя расхода теплоты на отопление зданий, от расчетной температуры наружного воздуха

t_{HO} °С	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
q , Вт/м ²	93	110	128	142	156	165	174	179	185

$$Q_{OT}^{ЖИЛ} = 165 \cdot 10 \cdot 31508 \cdot 10^{-3} = 51,99 \text{ МВт}.$$

Расход теплоты на отопление общественных зданий определяется из выражения (4):

$$Q_{OT}^{ОБЩ} = K_1 \cdot Q_{OT}^{ЖИЛ} = 0,25 \cdot 51,99 = 13 \text{ МВт}, \quad (4)$$

Суммарный расход теплоты на отопление определяется по формуле (5):

$$Q_{OT} = Q_{OT}^{IP} + Q_{OT}^{ЖИЛ} + Q_{OT}^{ОБЩ} = 4,961 + 51,99 + 13 = 69,95 \text{ МВт}. \quad (5)$$

Определение максимального расхода теплоты на вентиляцию промышленных предприятий, общественных и жилых зданий

Расход теплоты на вентиляцию промышленных зданий определяется из выражения (6):

$$Q_B^{IP} = q_B \cdot V_{IP} \cdot (t_{BH} - t_{HB}) \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (6)$$

Приближенно вентиляционную характеристику промышленных зданий можно определить по формуле (7):

$$q_B \approx \frac{l \cdot C_V \cdot V_{PP}^B}{V_{PP}} \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}, \quad (7)$$

$$l = 1,5 \frac{1}{\text{час}} = 4,166 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{с}};$$

$$q_B \approx \frac{l \cdot C_V \cdot V_{PP}^B}{V_{PP}} \cdot 10^3 = \frac{4,166 \cdot 10^{-4} \cdot 1,25 \cdot 77000}{110000} \cdot 10^3 = 0,365 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}};$$

$$Q_B^{PP} = q_B \cdot V_{PP} \cdot (t_{BH} - t_{HB}) \cdot 10^{-3} = 0,364 \cdot 110000 \cdot (16 - (-14)) \cdot 10^{-3} = 1,203 \text{ МВт}.$$

Расход теплоты на вентиляцию жилых и общественных зданий определяется из следующих выражений (8) и (9):

$$Q_B^{ЖИЛ} = K_2 \cdot Q_{OT}^{ЖИЛ} = 0,1 \cdot 51,99 = 5,199 \text{ МВт}, \quad (8)$$

$$Q_B^{ОБЩ} = K_3 \cdot Q_{OT}^{ЖИЛ} = 0,4 \cdot 51,99 = 20,8 \text{ МВт}; \quad (9)$$

Суммарный расход теплоты на вентиляцию вычисляется по формуле (10):

$$Q_B = Q_B^{ЖИЛ} + Q_B^{ОБЩ} + Q_B^{PP} = 5,199 + 20,8 + 1,203 = 27,202 \text{ МВт}. \quad (10)$$

Определение максимального расхода теплоты на горячее водоснабжение промышленных предприятий, общественных и жилых зданий

Расход теплоты на горячее водоснабжение промышленных зданий определяется из выражения (11):

$$Q_{ГВ}^{PP} = \frac{m' \cdot a' \cdot c_p \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ})}{n_{см}} = \frac{9452 \cdot 45 \cdot 4,187 \cdot (55 - 5)}{28800} = 3,092 \text{ МВт}, \quad (11)$$

Расчетный (максимальный) расход теплоты на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий вычисляется по формуле (12):

$$Q_{ГВ}^{ЖИЛ+ОБЩ} = K_{ч}^{max} \cdot Q_{ГВ. ср. нед.}^{ЖИЛ+ОБЩ}, \text{ кВт}; \quad (12)$$

$$Q_{ГВ}^{ЖИЛ+ОБЩ} = 2,4 \cdot 12,37 = 29,68 \text{ МВт}.$$

Суммарный расход теплоты на горячее водоснабжение вычисляется по формуле (13):

$$Q_{ГВ} = Q_{ГВ}^{ЖИЛ+ОБ} + Q_{ГВ}^{PP} = 29,68 + 3,092 = 32,77 \text{ МВт}. \quad (13)$$

Суммарная потребность в тепловой энергии вычисляется по формуле (14):

$$Q_{Г}^{MAX} = (Q_{OT} + Q_B + Q_{ГВ}) \cdot 1,1 = (69,95 + 27,202 + 32,77) \cdot 1,1 = 142,9 \text{ МВт}. \quad (14)$$

Построение годового графика тепловых нагрузок по продолжительности

Режим работы любой станции зависит от величины и графика тепловых нагрузок. Расчетные температуры и длительность их стояния за отопительный сезон определяются по таблице 2.

Таблица 2 – Температуры наружного воздуха города спутника и их продолжительность во время отопительного периода

$t_1, \text{°C}$	-25	$\tau_1, \text{час}$	34
$t_2, \text{°C}$	-20	$\tau_2, \text{час}$	144
$t_3, \text{°C}$	-15	$\tau_3, \text{час}$	470
$t_4, \text{°C}$	-10	$\tau_4, \text{час}$	1020
$t_5, \text{°C}$	-5	$\tau_5, \text{час}$	1850
$t_6, \text{°C}$	0	$\tau_6, \text{час}$	3380
$t_7, \text{°C}$	+5	$\tau_7, \text{час}$	-
$t_8, \text{°C}$	+8	$\tau_8, \text{час}$	4780

Расчет нагрузки на отопление: $Q_{отi} = Q_{от}^{пр} \frac{16-t_{ни}}{16-t_{нд}} + (Q_{от}^{жил} + Q_{от}^{общ}) \frac{18-t_{ни}}{18-t_{нд}}$;

Расчет нагрузки на вентиляцию: $Q_{вi} = Q_{в}^{пр} \cdot \frac{16-t_{ни}}{16-t_{нд}} + (Q_{в}^{жил} + Q_{в}^{общ}) \cdot \frac{18-t_{ни}}{18-t_{нд}}$;

Расчет нагрузки на горячее водоснабжение: $Q_{г.в} = 32,77$ МВт;

Расчёт тепловых нагрузок: $Q_{Ti} = Q_{OTi} + Q_{Bi} + Q_{Г.В.}$

Результаты расчётов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта тепловых нагрузок

$t_{ни}$	-25	-20	-15	-14	-10	-5	0	5	8
$Q_{отi}$	69,95	61,78	53,62	51,99	45,46	37,3	29,14	20,98	16,08
$Q_{вi}$	31,83	31,83	31,83	31,83	27,85	22,86	17,88	12,9	9,9
Q_{Ti}	134,6	126,4	118,2	116,6	106,1	92,94	79,79	66,65	58,76

По расчётным данным строим график тепловых нагрузок по продолжительности, рисунок 1.

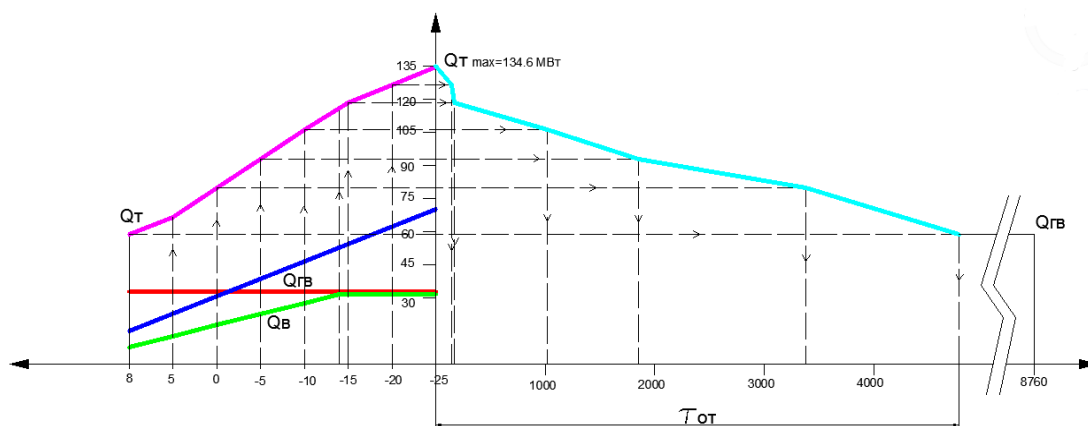


Рисунок 1 – График тепловых нагрузок

Назначение трубопроводов тепловой сети – бесперебойное снабжение потребителей тепловой энергией установленных параметров при минимальных утечках теплоносителя (горячей воды) и минимальных тепловых потерях. По правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды для объектов использования атомной энергии трубопроводы тепловой сети Ду 700 ТФУ относятся к 4 категории. Трубопроводы тепловой сети относятся к системе нормальной эксплуатации и имеют классификационное обозначение 4Н.

По способу прокладки – надземная в двухтрубном исполнении. Диаметр трубопроводов – Ду 700 мм. Протяженность тепловой сети 7960 пм. отдельно прямого и обратного трубопровода. Рабочие параметры: давление 16 кгс/см², температура 130 °С. Теплоноситель – горячая вода. Схема теплоснабжения двухступенчатая по подогреву воды: 1 ступень – ТФУ НВ АЭС; 2 ступень – пиковый режим работы котлов ПТВМ – 30 М с открытым водоразбором воды.

Организованная подпитка тепловой сети производится от ХВО котельных УТЭСиК НВ АЭС. Максимальный расход подпиточной воды – 400 м³/ч.

Зоны действия источников тепловой энергии

В границах города Нововоронежа действует 2 источника тепловой энергии. Котельная НФ ООО «АТЭС» обеспечивает тепловой энергией 7 «Б» микрорайон и Северный

микрорайон. Котельные УТЭСиК НВ АЭС обеспечивает теплом 1,2,3,4,5 кварталы, 6 и 7 «А» микрорайоны. А также промышленную зону города Нововоронежа. Границы зон действия источников тепловой энергии представлены на рисунке 2.

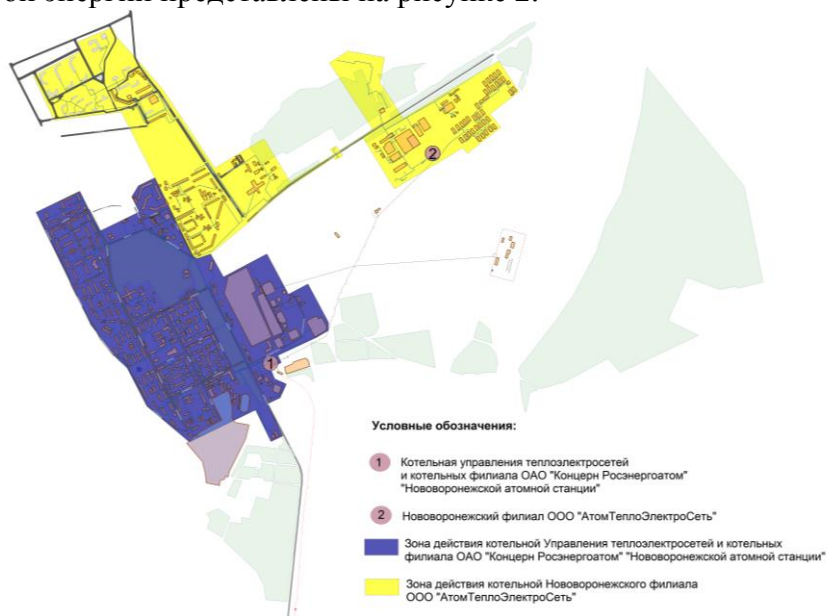


Рисунок 2 – Границы зон действия источников тепловой энергии

УТЭСиК – структурное подразделение филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» производит тепловую энергию на трех котельных в отдельно стоящих зданиях, находящихся территориально на одной площадке (площадью 29 000 м²). Отпуск тепловой энергии и горячей воды потребителям осуществляется от сетевых трубопроводов котельных, находящихся территориально на ее площадке через тепловые сети транспортирующей организации. В качестве основного топлива на котельных используется природный газ, в качестве резервного – мазут.

Газоснабжение котельных УТЭСиК осуществляется от газопроводов высокого давления по двум вводам с давлением 6 кгс/см² диаметром Ду 200.

Состав и технические характеристики основного оборудования Котельных УТЭСиК НВ АЭС представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики основного оборудования Котельных УТЭСиК НВ АЭС

Наименование источника адрес	Тип и количество котлов	Тип котлоагрегата	Производительность, Гкал/час	Завод-изготовитель котлов	Год ввода в эксплуатацию
Котельная № 1 Заводской проезд, д. 1 г. Нововоронеж, 396070	котел № 7 ДКВр-6,5/13	паровой	4,20	Бийский котельный завод	1968
	котел № 8 ДКВр-6,5/13	паровой	4,20		1997
	котел № 5 ДКВр-6,5/13	паровой	4,20		1997
	котел № 15 ДКВр-6,5/13	паровой	4,20		1970
	котел № 16 Е-6,5-1,4 ГМ (ДКВр-6,5/13 ГМ)	паровой	4,20		2005
Котельная № 2 Заводской проезд, д. 1 г. Нововоронеж, 396070	котел № 10 ДКВр-10/13 ГМ	паровой	6,50	Бийский котельный завод	2006
	котел № 11 Е-10-1,4 ГМ (ДКВр-10/13 ГМ)	паровой	6,50		1997
	котел № 12 Е-10-1,4 ГМ (ДКВр-10/13 ГМ)	паровой	6,50		1997
	котел № 13 ДКВр-10/13	паровой	6,50		1968
	котел № 14 ДКВр-10/13	паровой	6,50		1968
Котельная № 3 Заводской проезд, д. 1 г. Нововоронеж, 396070	котел № 17 ПТВМ-30 М-4	водогрейный	30,00	Дорогобужский котельный завод	1973
	котел № 18 ПТВМ-30 М-4	водогрейный	30,00		1973

Таким образом, проведенный расчет показывает целесообразность использования АЭС для теплоснабжения города-спутника. Данная система реализована в городе Нововоронеж и доказала свою эффективность на практике.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7-е изд., стереотип. М.: Издательство МЭИ, 2001. – 478 с.
2. Справочное пособие теплоэнергетика электрических станций / Н.П. Волков, А.Д. Качан и др.; Под ред. А.М. Леонкова и Б.В. Яковлева, Минск: Беларусь, 1974. – 368 с.
3. Схема теплоснабжения муниципального образования городского округа город Нововоронеж с 2013 по 2029 год. Санкт-Петербург, 2013.

УДК 631.158

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРБОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛА ТУРБИН

Радечко Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кашеев В.П.

Особенностью теплоснабжения в странах СНГ, включая Республику Беларусь, Россию и др. (в отличие от большинства стран мира) является широкое распространение систем централизованного теплоснабжения в крупных городах. Источником тепловой энергии в таких системах являются городские ТЭЦ, на которых осуществляется комбинированная выработка электроэнергии и тепла, или районные котельные. С термодинамической точки зрения комбинированное производство электроэнергии и тепла на ТЭЦ является гораздо более эффективным, чем раздельное производство электроэнергии на конденсационных тепловых электростанциях и тепла котельными. Вместе с тем применение централизованных систем теплоснабжения имеет свои недостатки и ограничения. Строительство протяженных теплотрасс к удаленным объектам, а также к объектам в районах с малой плотностью застройки, сопряжено со значительными капитальными вложениями и большими тепловыми потерями на трассе. Их эксплуатация впоследствии также требует больших затрат. Серьезные проблемы возникают и при реконструкции существующих объектов и строительстве новых в обжитых городских районах с плотной застройкой. В этих случаях увеличение тепловых нагрузок создает для застройщика часто непреодолимые трудности, в том числе финансовые, при получении и реализации технических условий на подключение к районной тепловой сети. Действующие в настоящее время тарифы на тепловую энергию в сочетании с затратами на подключение к городским тепловым сетям заставляют все чаще задумываться над альтернативными способами теплоснабжения, а именно, теплонасосными системами теплоснабжения. Тепловые насосы нашли широкое применение для теплоснабжения жилых и административных зданий в США, Швеции, Канаде, России и других странах со сходными с Республикой Беларусь климатическими условиями. Эффективность их использования зависит от многих факторов, таких как: температурные уровни источника теплоты и потребителя, соотношение тарифов на теплоту и используемую энергию, уровень цен на используемую теплоту от источника (если необходимо за нее платить), тип использования привода компрессора и т.д. Под эффективностью здесь понимается превышение стоимости замещаемой теплоты (от другого источника) над энергетическими затратами ее производства в турбонасосной установке (ТНУ). Она является основой для определения реального экономического эффекта при использовании ТНУ с учетом капитальных, эксплуатационных и других затрат, сроков их окупаемости, себестоимости произведенной теплоты, получения дополнительной прибыли и т.д. Исследования, проводимые российскими учеными и инженерами на протяжении последних лет показывают, что в себестоимости теплоты, произведенной ТНУ с электроприводом, существенную часть вносят энергетические затраты, которые в значительной мере зависят от температурного уровня источника теплоты и тарифов на электроэнергию. Так при определенных тарифах на электроэнергию и температуре, используемой низкопотенциальной теплоты, например, теплоты канализационных стоков, грунта земли, сбросной воды тепловых электростанций, энергетическая составляющая в себестоимости теплоты, произведенной в ТНУ, может быть соизмеримой с общей себестоимостью теплоты, выработанной другими источниками. Поэтому к использованию ТНУ в системах теплоснабжения необходимо подходить взвешенно, с учетом всех конкретных условий. Использование для привода ТНУ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) или в сочетании ТНУ с другими энергоустановками существенно увеличивает эффективность их применения.

Энергии сбросного тепла, поступающего на градирни промышленных ТЭЦ, достаточно, чтобы остановить в резерв все, даже самые крупные котельные города, при понижении температуры наружного воздуха до -8°C ! Однако даже зимой, когда из градирен ТЭЦ выбрасывается огромное количество тепла, в зоне действия тепловых сетей работают десятки котельных, нагрузку которых могут взять на себя ТЭЦ. Технически возможна утилизация до 90 % низкопотенциальной теплоты. При совершенствовании систем централизованного теплоснабжения необходимо учитывать следующие факторы:

- огромные выбросы низкопотенциальной теплоты, прежде всего системой охлаждения технической воды на ТЭЦ, увеличивающиеся в период снижения тепловой нагрузки в неотапительный период;

- резко возрастающий пережог топлива при выработке электроэнергии в условиях снижения тепловой нагрузки;

- большие затраты теплоты на нагрев сетевой воды, восполняющей ее потери в теплосетях;

- дефицит сетевой воды во многих районах города из-за ограниченной теплопропускной способности существующих сетей;

- экономия (замещение) органического топлива с помощью тепловых насосов в конечном счете происходит за счет полезного вовлечения выбросов низкопотенциальной теплоты на ТЭЦ. Это достигается двумя способами:

- прямым использованием тепла технической воды, охлаждающей конденсаторы ТЭЦ в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для теплового насоса (в обход градирни);

- использованием в качестве ИНТ для теплового насоса обратной сетевой воды, возвращаемой на ТЭЦ, температура которой снижается до $20-25^{\circ}\text{C}$.

Первый способ реализуется, когда тепловой насос размещен вблизи ТЭЦ, второй – когда он используется вблизи потребителей. В обоих случаях температурный уровень ИНТ достаточно высок, что создает предпосылки для работы теплового насоса с высоким коэффициентом преобразования. С помощью ТНУ можно передать большую часть этой сбросной теплоты в теплосеть (около 80–90 %). При этом применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения позволяет существенно повысить технико-экономические показатели систем городского энергохозяйства:

- на производство этой теплоты не надо затрачивать дополнительное топливо;

- улучшается экологическая ситуация;

- за счет понижения температуры циркуляционной воды в конденсаторе турбин существенно улучшится вакуум и повысится электрическая выработка с турбин;

- сократятся потери циркуляционной воды и затраты на ее перекачку;

- прирост тепловой мощности на величину утилизируемой теплоты, ранее выбрасываемой в систему охлаждения технической воды;

- снижение теплопотерь при транспортировке сетевой воды в магистральных трубопроводах;

- возрастание отопительной нагрузки (на 15–20 %) при том же расходе первичной сетевой воды и снижение дефицита в сетевой воде на ЦТП в удаленных от ТЭЦ микрорайонах;

- появление резервного источника для покрытия пиковых тепловых нагрузок.

В условиях высоких и нестабильных цен на такие важные энергоресурсы как нефть и газ, а также учитывая глобальную политическую нестабильность, применение тепловых насосов может существенным образом повлиять на сложившуюся ситуацию в качестве альтернативного источника тепловой энергии.

Изучение вопроса эффективности применения абсорбционных тепловых насосов в процессе утилизации «бросового» тепла низкого потенциала показывает, что отсутствие компрессорного оборудования и фтор-хлорсодержащих веществ существенным образом расширяет границы их применения и диапазон выпускаемых мощностей, делает их

экологически чистыми и экономичными источниками тепла. При охлаждении 28000 т/ч циркуляционной воды в испарителях тепловых насосов даже на 3 °С теплосъём может составить до 97,8 МВт. Рекуперирова эту низкопотенциальную энергию, которая традиционно выбрасывается в окружающее пространство, в тепловых насосах с коэффициентом трансформации не ниже 3,5 можно получить около 118 Гкал/ч тепловой энергии. Правда, при этом необходимо затратить 25–30 % электрической энергии для реализации реобразования энергии в тепловом насосе. Заметим, что циркуляционная вода полностью или частично охлаждается в испарителе ТН и, следовательно, за счёт понижения её температуры в конденсаторе турбины улучшается вакуум и появляется возможность выработки дополнительной электрической энергии, которая может быть использована для привода компрессора теплового насоса. Это даёт основание говорить о комплексном использовании теплонасосных технологий, используя в качестве теплообменников ТН как со стороны нагрева, так и со стороны охлаждения. Имеется также потенциальная возможность утилизации сбросной теплоты, отводимой при охлаждении энергетического оборудования станции.

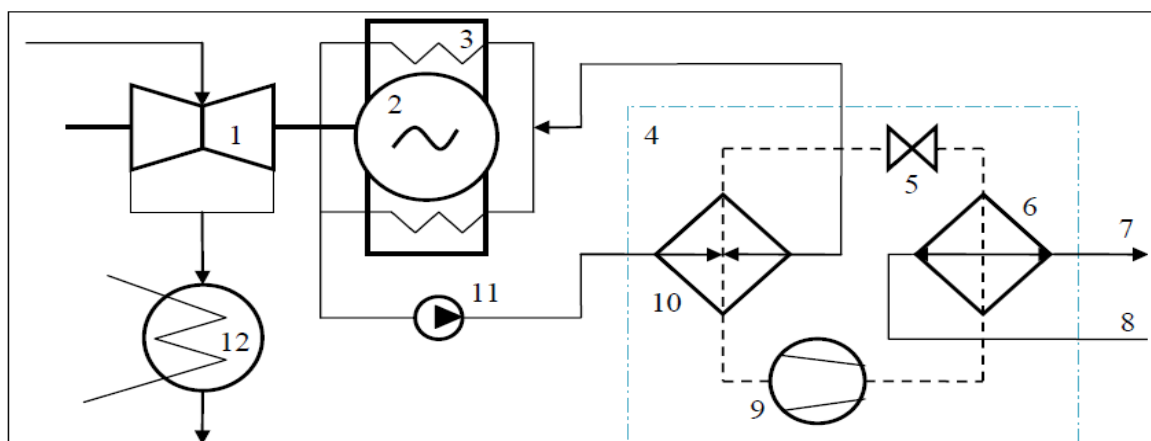


Рис. 6. Принципиальная схема использования ТН для утилизации теплоты, отводимой при охлаждении электрогенератора:

1 – ЦНД турбины; 2 – электрический генератор блока; 3 – система охлаждения электрогенератора; 4 – тепловой насос; 5 – терморегулирующий вентиль ТН; 6 – конденсатор ТН; 7 – нагретая подпиточная вода; 8 – холодная подпиточная вода; 9 – компрессор ТН; 10 – испаритель ТН; 11 – насос теплоносителя системы охлаждения электрогенератора; 12 – конденсатор турбины

Так, на рисунке приведена принципиальная схема рекуперации теплоты, отводимой при охлаждении электрических обмоток и металла турбоэлектрогенератора для подогрева подпиточной химически очищенной воды. Считая, что отводимая теплота пропорциональна вырабатываемой электрической мощности генератора $N_{эл}$ и полностью отдаётся рабочему телу в испарителе теплового насоса 10, при заданных КПД электрогенератора η_g и коэффициенте преобразования теплового насоса (COP) в конденсаторе теплового насоса 6 подпиточной воде будет передана теплота в количестве

$$Q_{тну} = 0,8598 \cdot N_{эл} (1 - \eta_g) / (1 - 1/COP).$$

Здесь $Q_{тну}$ – теплота, переданная подпиточной воде в конденсаторе теплового насоса, Гкал/ч; $N_{эл}$ – электрическая мощность генератора с КПД η_g , МВт; COP – коэффициент преобразования теплового насоса.

Экономия условного топлива определится как

$$\Delta B = Q_{тну} / 7000 \eta_{ку},$$

где $\eta_{ку}$ – КПД замещающей котельной установки.

Используя данные режимных карт и приняв COP = 4,5, $\eta_g = 0,95$ и $\eta_{ку} = 0,86$, можно получить, что экономия топлива на подогрев подпиточной воды в количестве 300 т/ч от температуры 12 до 45 °С за анализируемый отрезок времени может составить 11,52 МВт (9,9 Гкал/ч).

Основной целью внедрения ТНУ в технологическую схему тепловых станций является уменьшение затрат первичного топлива для производства теплоты и электроэнергии.

Уже в 2012 году австрийская компания OCHSNER приступила к серийному производству высокотемпературных тепловых насосов. Для достижения температуры в горячем контуре 95 °С компания разработала двухфазный круговой процесс с использованием для первой фазы хладагента R134a, а для второй фазы – OKO1 (оба хладагента негорючие, нетоксичные, с низким рабочим давлением). Высокотемпературные тепловые насосы выпускаются мощностью от 190 до 750 кВт в единичном изделии, при этом температура нагретой воды на выходе из конденсатора достигает 100 °С при температуре источника тепла не ниже 10 °С.

По данным РОСНАУКИ [6] в рамках проекта ФЦ 2002–2006 научнопроизводственной фирмой ЭКИП, Московским энергетическим институтом, Московским государственным университетом инженерной экологии и другими соисполнителями разработана конструкторская документация теплового насоса ТНСО2-2300 мощностью до 23 МВт с использованием в качестве рабочего тела диоксида углерода. Тепловой насос предназначен для подогрева сетевой воды систем теплофикации при утилизации бросовой теплоты объектов промышленной энергетики. При входной температуре сетевой воды 15 °С может быть получена выходная температура до 80 °С, при этом температура низкопотенциального теплоносителя с 28 °С охлаждается до 20 °С. Преобразование энергии происходит с коэффициентом не менее 5,0. С применением разработанного теплового насоса предложен проект атомно-теплонасосной теплофикации районов г. Санкт-Петербурга с утилизацией сбросной теплоты конденсаторов паровых турбин Ленинградской АЭС-2.

Известны промышленные тепловые насосы американской корпорации Mammoth серии вода–вода производительностью от 248 до 3500 кВт на базе винтовых компрессоров. Работы по внедрению теплонасосных технологий в схемы тепловых электрических станций ведутся в США, Англии, Швеции, Германии, России.

На ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» создан лабораторный стенд по апробации схем применения теплонасосных установок в энергетике [7]. Теплонасосная установка НТ-410, изготовленная на заводе «Компрессор», смонтирована и обвязана с существующим оборудованием ТЭЦ. В качестве низкопотенциального источника энергии для ТНУ использована сбросная теплота циркуляционной воды после конденсаторов турбин. В результате испытаний рекомендованы к разработке схемы с передачей сбросной теплоты циркуляционной воды в обратную тепломагистраль теплосети (до подогревателей сетевой воды) и использования сбросной теплоты для ступенчатого нагрева в ТНУ подпиточной сетевой воды.

Заключение

Достижения в создании современных промышленных теплонасосных установок позволяют осуществлять реализацию проектов по утилизации значительной части этой традиционно теряемой сбросной низкопотенциальной энергии. Рациональность рекуперированной теплоты обусловлена возможностью с помощью ТНУ, не затрачивая дополнительного топлива, организовать подогрев подпиточной воды, производить подогрев сетевой воды из обратной магистрали в конденсаторе теплового насоса с вытеснением сетевого подогревателя первой ступени, захлаживание обратной сетевой воды в испарителе теплового насоса и подогрев её в дополнительном пучке конденсатора турбины, улучшая в последнем вакуум и повышая выработку электроэнергии. Для вывода об экономической целесообразности такой утилизации необходимо выполнить многовариантные оптимизационные расчёты различных схем, обосновывающие реальную экономию первичного топлива, повышение выработки электроэнергии и теплоты, повышение энергетической эффективности работы турбин за счёт применения теплонасосных технологий, с учётом действующих тарифов на электро- и теплоэнергию, достоверных данных по коэффициенту преобразования ТНУ, капитальных и эксплуатационных затрат.

УДК 621.35

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Радцевич В.Ф., Родик А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Топливный элемент (ТЭ) или топливная ячейка – электрохимическое устройство, подобное гальваническому элементу, но отличающееся тем, что вещества для электрохимической реакции подаются извне (в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в гальваническом элементе или аккумуляторе) [2].

Топливный элемент имеет два электрода: анод (отрицательный электрод) и катод (положительный электрод), на которых происходит химическая реакция. Чтобы ее ускорить, поверхность электродов покрывается катализатором. Превращение химической энергии топлива непосредственно в электричество, происходит благодаря работе электролитической мембраны, которая отделяет две камеры элемента, в которые подают топливо и окислитель. Мембрана позволяет проходить из одной камеры в другую только протонам, которые получают в результате расщепления топлива, на электроде, покрытом катализатором (электроны при этом пробегают по внешней цепи). Во второй камере протоны воссоединяются с электронами (и атомами кислорода), образуя воду.

На химическом уровне процесс превращения энергии топлива в электроэнергию схож с обычным процессом горения (окисления). При обычном горении химическая энергия топлива переходит в теплоту. При окислении водорода кислородом в среде электролита и при наличии электродов результирующая реакция $2H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$ – та же, что и при обычном горении, но **в топливном элементе получается электрический ток и частично теплота**.

Области применения топливных элементов различны, например:

- транспорт (электромобили, авто-, морской и железнодорожный транспорт, горная и шахтная техника; вспомогательный транспорт – складские погрузчики и т.д.);
- бортовое питание (авиация, космос, подводные лодки и пр.);
- мобильные устройства (портативная электроника, питание сотовых телефонов, армейские зарядные устройства и пр.).

Топливные элементы находят все более широкое применение и в энергетике [1–3].

К настоящему времени в США, Японии, странах Евросоюза распространяются установочные партии когенерационных низкотемпературных и среднетемпературных топливных элементов, соответственно, с протонообменной мембраной (PEFC) и фосфорноокислотных (PAFC).

Преимущества мини-ТЭС на топливных элементах:

- отсутствие вибрации и минимум шума вследствие отсутствия движущихся частей (суммарный шум силового модуля совместно с модулем охлаждения менее 60 дБ на 10 м);
- высокая экологичность, поскольку уходящие газы мало отличаются от чистого воздуха (для установки средней мощности вредные выбросы составляют: $NO_x < 1 \text{ ppm}$, $SO_x < 1 \text{ ppm}$, $CO < 2 \text{ ppm}$, углеводороды – менее 1 ppm);
- широкий диапазон изменения нагрузки (от 10 до 100 %, при этом возможен быстрый наброс нагрузки во всем диапазоне);
- простота монтажа и запуска (контейнерное исполнение), гарантийный срок не менее 10 лет; благодаря небольшому количеству сменных деталей практически отсутствуют затраты на техническое обслуживание, а коэффициент готовности составляет до 98 %;
- ТЭ не требовательны к топливу: в качестве топливного газа, наряду с природным газом в ТЭ можно использовать биогаз, угольный газ, рудничный газ, синтезгазы и даже метанол. Это значит, что ТЭ могут работать на возобновляемых источниках энергии.

Эффективность выработки электроэнергии достаточно высока: электрический КПД установки с ТЭ составляет 47 %, а при ее дооснащении паровой турбиной возможно достижение суммарного электрического КПД до 65 %.

Перспективы масштабного применения когенерационных ТЭ связаны с уменьшением их удельной стоимости.

Возможно также применение гибридных энергоустановок на базе ГТУ и ПГУ, в которых камера сгорания заменяется высокотемпературными топливными элементами: твердооксидными (*SOFС*) или на основе расплавленных карбонатов (*MCFC*), работающими при температуре 850 °С и 650 °С. Уже созданы образцы высокотемпературных энергетических топливных элементов единичной мощностью от 200 кВт до 20 МВт с КПД на уровне 60 – 70 %. В перспективе намечается достижение КПД на уровне 75 % с созданием энергетических установок мощностью до 300 МВт и более.

В большой энергетике актуально перспективное применение топливных элементов для крупномасштабного аккумулирования энергии.

Рост неравномерности суточных графиков электрических нагрузок усложняет регулирование частоты и мощности в энергосистеме, в особенности при дефиците в ней маневренных мощностей и избытке базовых. Эксплуатация оборудования в переменных режимах снижает его надежность и экономичность, а применение аккумуляторов энергии позволяет улучшить условия работы энергосистемы. Все более широкое применение возобновляемых источников, использующих энергию солнца и ветра и характеризующихся неравномерностью генерации, также невозможно без применения емких аккумуляторов, запасующих энергию в той или иной форме.

Одним из вариантов электрохимического накопителя энергии может быть топливный элемент в сочетании с электролизерами и газгольдерами. При снижении электрической нагрузки в энергосистеме избыточная (по сравнению с требуемой по графику) энергия идет на гидролиз воды для получения O_2 и H_2 . В периоды пиковой нагрузки в системе, полученные O_2 и H_2 , направляются в топливный элемент для выработки дополнительной электроэнергии.

При этом повышается коэффициент заполнения графика электрической нагрузки, и улучшаются условия работы оборудования ТЭС и АЭС.

Возможно также применение топливных элементов в действующей энергетике для получения электроэнергии за счет утилизации водорода, сбрасываемого в атмосферу из водородного хозяйства электростанций, на которых H_2 используется для охлаждения электрических машин (генераторов и синхронных компенсаторов) на ТЭС, ГЭС и других промышленных объектах.

Таким образом, топливные элементы, могут использоваться, как для повышения эффективности действующих электростанций, так и в качестве перспективных энергогенерирующих источников. ТЭ могут помочь в преодолении ограничений 2-го и 3-го начал термодинамики, поскольку для них теоретический КПД может достигать 80 %, что значительно выше, чем КПД цикла Карно, составляющий 50 % для тепловых машин и зависящий от разницы температур рабочего тела в цикле. КПД ТЭ, определенный по теплоте химической реакции, теоретически может быть и выше 100 %, если в работу будет превращаться и теплота окружающей среды.

Литература

1. Гринбаум, М. Программа исследований, разработок и демонстраций новых технологий по экологически чистому использованию угля // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 72–81.
2. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.
3. Международное энергетическое агентство. Перспективные технологии в области энергетики. – В поддержку Плана действий G-8. – Сценарии и стратегии до 2050 года.

УДК 628.1

ВНЕДРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС И АЭС В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС КАФЕДРЫ ТЭС БНТУ

Римашевская Е.Д.

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

Введение. Бесспорным является то, что метод ионного обмена позволяет получить воду любого требуемого качества для использования на ТЭС и АЭС [1]. Появление в мировой практике новых типов парогенерирующего оборудования и ужесточение норм качества водного теплоносителя требуют совершенствования водоподготовки. Компьютерные программные расчеты дают возможность оптимизировать выбор технологии обессоливания воды ещё на стадии проектирования водоподготовительных установок [2].

Анализ состояния подготовки водного теплоносителя на ТЭС Республики Беларусь. Состояние технологии подготовки водного теплоносителя на теплоэлектростанциях (ТЭС) Белорусской энергосистемы определяется состоянием и перспективами развития основного теплоэнергетического оборудования. В настоящее время в Белорусской энергосистеме используются, в основном, технологии физико-химической обработки природной воды, разработанные в 1960–1970-х гг. Данные технологии позволяют добиться качества воды, соответствующего нормам различных промышленных энергетических объектов; гарантируют длительную безаварийную работу основных агрегатов теплоэнергетического производства, просты в эксплуатации. Однако при этом требуют высоких капитальных затрат, значительного расхода реагентов, сопровождаются большим количеством высокоминерализованных стоков. Велико и негативное их влияние на окружающую среду, что оборачивается увеличением материальных затрат на обработку воды. Непрерывно возрастающая стоимость реагентов и воды (плата осуществляется как за водопотребление, так и водоотведение) ставит задачу повышения экономической эффективности систем водоподготовки и снижения их негативного влияния на экологию, а введение в эксплуатацию современного теплотехнического оборудования – улучшения качества подпиточной воды, возможного только путем внедрения новых технологий и оборудования [3].

Совершенствование технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС. 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) [4]. Ужесточение экологических требований к водоподготовке, ухудшение качества обрабатываемых вод и высокие эксплуатационные затраты привели к созданию новых технологий обработки воды.

Анализ литературных источников [4-6] показывает, что предложения по совершенствованию технологии обессоливания воды на ТЭС и АЭС 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, Packed Bed, Schwebbett и др.);
- разработку схем обессоливания на основе мембранных методов обработки воды;
- создание малоотходных технологий на основе термического метода.

Возможность практически безреагентного удаления растворенных солей и органических соединений предопределяет актуальность использования мембранных технологий в схемах обессоливания воды на ТЭС и АЭС Белорусской энергосистемы. Традиционно используемая проточная ионообменная технология обессоливания воды, позволяющая добиться качества воды, соответствующего нормам различных промышленных энергетических объектов, теряет конкурентоспособность в условиях значительного повышения цен на ионообменные смолы, кислоту и щелочь, и увеличения платы за водопользование и сброс минерализованных стоков, что делает мембранные технологии обессоливания конкурентноспособными по сравнению с ионообменными.

Характеристика компьютерных технологий расчета систем водоподготовки. При проектировании новых и модернизации существующих водоподготовительных установок (ВПУ) основными задачами являются [7]:

- обеспечение стабильного качества получаемой воды;
- обеспечение технологической надежности и устойчивости работы оборудования;
- сокращение эксплуатационных затрат;
- минимизация количества сбрасываемых стоков.

В настоящее время наметился прогресс в области водоподготовки: вводятся новые и реконструируются существующие установки. При этом используются высокотехнологичные элементы систем водоподготовки и прогрессивные методы водоочистки [8, 9].

Проектирование различных систем обработки воды в современных условиях проводится с использованием программированных расчетов. Расчет технологических параметров систем водоподготовки может выполняться с помощью специализированных программ, предоставляемых производителями основных технологических элементов схем водоподготовки («CADIX», «Ion Exchange Design», «Winflows», «ROSA», и др.) [10].

Фирмы-производители мембранных аппаратов (элементов) (Hydranautics, Saehan, Osmonics, LANXESS) и ионообменных смол и установок химического обессоливания воды (DOW CHEMICAL, LANXESS, Purolite) предоставляют своим покупателям специализированные компьютерные программы для расчета схемы оптимального гидравлического распределения и определения химического состава фильтрата исходя из заданных характеристик установки. Рассмотрим и проанализируем эффективность проектирования систем водоподготовки с использованием компьютерных программ.

Особенности использования компьютерных технологий при проектировании систем водоподготовки. [11, 12] автором был проведен сравнительный анализ программного проектирования ионообменных ВПУ ТЭС и АЭС с использованием различных технологий регенерации. Выполнение сравнительного анализа программ CADIX и Ion Exchange Design осуществлялось при проектировании условной ВПУ с использованием различных способов регенерации ионитных фильтров.

Программа CADIX (Computer Aided Design for Ion eXchange – Компьютерное проектирование для ионного обмена) – компьютерная программа проектирования систем ионного обмена, разработанная компанией DOW CHEMICAL. Программа CADIX является универсальным ионообменным инженерным инструментом для проектирования и анализа существующих рабочих систем водоподготовки. Более того, программа CADIX обеспечивает оценку экономической обоснованности переоборудования ионообменных систем водоподготовки с использованием противоточных технологий UPCORE или Packed Bed. CADIX позволяет проектировать одновременно как проточное, так и противоточное регенерирование фильтров умягчения и обессоливания с использованием ионообменных смол марки DOWEX. К достоинствам программы CADIX можно отнести то, что при введении неверных параметров программа автоматически уведомляет об ошибке и просит скорректировать данные, а также позволяет изменять любой параметр и в режиме реального времени отслеживать изменения выходных характеристик.

Немаловажными факторами при оценке экономической и экологической эффективности работы фильтров являются качество и количество сточных вод. Расчет качества и количества сточных вод проводится в программе CADIX как для прямочной, так и для противочной регенерации. В обоих случаях стоки разделяются на две части «грязные» и «чистые» стоки. Первые составляют примерно 1/3 от объема всех сточных вод, имеют более высокую концентрацию ионов и направляются на нейтрализацию.

Программа Ion Exchange Design – компьютерная программа для проектирования систем ионного обмена, разработанная фирмой Purolite. Она предназначена для использования инженерами-проектировщиками, которые имеют опыт проектирования таких систем. По своей структуре программа является очень гибкой и позволяет осуществить многие вариации в зависимости от конкретных параметров пользователя, что позволяет исследовать влияние изменения множества различных факторов на проектируемую им систему. После ввода всех требуемых параметров сама программа будет генерировать предупреждения, если работа с системой ведется 'ошибочным образом', поэтому, при условии, что на эти предупреждения будет обращено должное внимание, программа может создавать функциональную конструкцию. Программа также следит за соблюдением равенства количества катионов и анионов и производит расчет качества и количества сточных вод для прямочной и противочной регенерации.

В [13, 14] автором было проведено исследование малосточности технологий водоподготовки на ТЭС с использованием различных технологий обессоливания воды. Выполнение сравнительного анализа эффективности схем водоподготовки осуществлялось с использованием программы CADIX, описанной выше, и ROSA при проектировании малосточной ВПУ ТЭС с использованием различных способов подготовки обессоленной воды (противочной технологии ионного обмена и баромембранной технологии обратного осмоса).

Программа ROSA – компьютерная программа для расчета баромембранных установок обессоливания воды по технологиям обратного осмоса и нанофильтрации с применением мембранных элементов FILMTEC, разработанная компанией DOW CHEMICAL. Программа позволяет быстро и легко выполнить предварительные расчеты показателей работы элементов FILMTEC в конкретных условиях. Для оценки работы баромембранных установок необходимо сделать несколько вариантов расчетов с разными параметрами. Программа позволяет рассчитывать двухступенчатые схемы с рециклом концентрата, когда часть его потока возвращается для подмеса к питательной воде той же или предыдущей ступени. Программа производит расчет качества и количества фильтрата и концентрата баромембранных установок.

Winflows – компьютерная программа для расчета баромембранных установок, разработанная компанией Osmonics. Программа очень удобна в расчетах серьезных систем, состоящих из рулонных мембранных элементов. Требуется знания основ проектирования мембранных установок. Программа позволяет рассчитывать двух- и трехступенчатые схемы с рециклом концентрата. Содержит технико-экономические расчеты эксплуатационных затрат на содержание системы. К достоинствам программы Winflows можно отнести расчет ступени дообессоливания пермеата обратноосмотических установок на установке электродеионизации (ЭДИ).

Заключение. Существующие в настоящее время компьютерные программы призваны помочь инженерам и производителям оригинального оборудования водоподготовки настроить компоненты для обработки воды лучше и быстрее посредством применения технологий компьютерного проектирования.

Компьютерные программы проектирования систем ионного обмена CADIX и Ion Exchange Design и баромембранных установок Winflows и ROSA дают возможность получить необходимые данные для выбора основного и вспомогательного оборудования ионообменных и баромембранных установок соответственно, различных эксплуатационных режимов, показателей работы установок. Отличная визуализированность и наглядность

рассмотренных в данной работе программ способствуют минимизации временных затрат на проведение исследования или расчёта.

По результатам работы автора в 2015 году было получено 2 акта внедрения в образовательный процесс кафедры «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета в учебную программу дисциплин «Водоподготовка и водно-химические режимы АЭС» и «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС». Внедрение осуществлено при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Водно-химический комплекс АЭС» и «Водно-химический комплекс ТЭС» соответственно. Указанные виды учебных занятий проводятся со студентами, обучающимися по специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» и 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» соответственно.

Применение современных технологий и схем обессоливания воды на объектах энергетики позволит 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 и АЭС на гидросферу.

Литература

1. Выбор метода водоподготовки на ТЭС различных типов / А.С. Седлов, Е.Н. Потапкина, А.П. Рыков и др. // Вестник МЭИ, №4, 2004. С. 26-32.
2. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программные расчеты: учебное пособие для ВУЗов / А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
3. Хаютина Е.С. Новое оборудование требует модернизации водоподготовки и водного режима // Энергетика Беларуси, № 17, 2015. – С. 5. – №18, 2015. – С. 6.
4. Опыт совершенствования технологий обессоливания воды на ТЭС / А.С. Седлов, В.В. Шищенко, Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, Е.Н. Потапкина, Ф.Р. Хазиахметова // Электрические станции, № 10, 2010. С. 13–21.
5. Внедрение противоточной технологии UPCORE фирмы «Дау Кэмикал» (США) на ВПУ по обессоливанию ТЭЦ-12 МОСЭНЕРГО / И.И. Боровкова, И.С. Балаев, С.Л. Громов, В.А. Сидоров, В.А. Шуляев // Электрические станции, № 5, 2000. С. 29-31.
6. Громов С.Л. Технологические преимущества процесса противоточной регенерации ионообменных смол UPCORE: промывка взрывлением // Теплоэнергетика, № 3, 1998. С. 52-55.
7. Опыт НПК «МЕДИАНА-ФИЛЬТР» в области модернизации ВПУ в энергетике// Реконструкция энергетики – 2010, 2010. С. 121-123.
8. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов/ А.С. Копылов, В.М. Лаврыгин, В.Ф. Очков. – М.: Издательство МЭИ, 2003.
9. Копылов А.С., Очков В.Ф. Современные методы водоподготовки. Информационная и расчетная поддержка прогрессивных технологий // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение; №0, 2008. С.36-39.
10. Римашевская Е.Д. Совершенствование проектирования водоподготовительных установок тепловых и атомных электрических станций с использованием компьютерных технологий // Информатизация инженерного образования. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С.415-419.
11. Родина Е.В., Римашевская Е.Д. Исследование программного проектирования ВПУ ТЭС и АЭС // Энергия-2015, Том 1, 2015. С.103-105.
12. Родина Е.В., Римашевская Е.Д. Исследование компьютерных программ проектирования ВПУ ТЭС и АЭС // Энергия 2015, конкурс докладов по электроэнергетическим и электротехническим тематикам СИГРЭ. Вестник Российского национального комитета СИГРЭ, №7, 2015. С. 76-80.
13. Римашевская Е.Д. Совершенствование малоотходных технологий ХВО // Актуальные проблемы энергетики, №71, 2015. С.254-227.
14. Римашевская Е.Д. Разработка малосточной ВПУ ТЭЦ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2015, том 2, 2015. – С.358-363.

УДК 621.125

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИНЫ

Руто Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

Контроль металла корпусной детали включает в себя: 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. Результаты контроля оформляются в виде формуляра детали, в котором условным цветом отмечаются места расположения дефектов, обнаруженных при каждом капитальном ремонте, исходные размеры дефекта, размеры выборки, принятое решение по ремонту (выбран, заварен, засверлен и др.) и толщина стенки в трещиноватой зоне.

Магнитопорошковая дефектоскопия

В зависимости от размеров выявляемых поверхностных несплошностей устанавливаются три условных уровня чувствительности определяемых минимальной шириной и длиной условного дефекта (А, Б, В). Контроль корпусов турбин обычно проводят на уровне чувствительности Б.

В качестве индикаторов несплошностей при МПД используются черные или цветные магнитные порошки, или их суспензии. Перед проведением МПД необходимо подготовить поверхность и оценить ее пригодность к контролю. Выявленные при визуальном осмотре дефекты должны быть устранены до проведения МПД. Контроль корпусов турбин, как правило, осуществляется способом приложенного поля, так как металл корпусов относится к магнитомягким материалам. Выполняется циркулярное или полюсное намагничивание. Циркулярное намагничивание производится воздействием через контролируемое изделие постоянного, переменного или импульсного тока. Ток в цепи из одного витка равен 1110–1200 (переменный) и до 600А (постоянный). Источниками тока служат крупногабаритные, тяжелые аппараты (например, ДМП-2). В местах подключения (прижатия) электродов к контролируемому объекту очень часто возникают прижоги, вызывающие локальные растрескивания. После такого контроля необходима зашлифовка мест электрического контакта.

Полюсное намагничивание обычно выполняется электромагнитом или постоянным магнитом. Для обеспечения высокой чувствительности необходимо снижать магнитные потери за счет зазора между изделием и полюсным наконечником. В этой связи применяют магниты с шарнирными (подвижными) магнитопроводами и профильными полюсными наконечниками, имеющими ту же форму, что и у контролируемого объекта. Иногда полюсные наконечники выполняют в виде подпружиненных стержней, которые при прижиге магнита принимают форму поверхности. Из промышленных аппаратов следует отметить переносной комплект ПМД-70 с питанием от сети переменного тока или аккумуляторов напряжением 27 В. Ложные индикаторные следы, как правило, возникают по линии сплавления заварок, выполненных аустенитными электродами. В этом случае используется цветная дефектоскопия или травление (Тр).

Цветная дефектоскопия

Цветная дефектоскопия выполняется при хорошо отшлифованной поверхности контроля, так как при более грубой поверхности большинство из известных дефектоскопических материалов (ДМ) удаляются плохо и составляют фон, мешающий расшифровке результатов контроля. Имеются ДМ, позволяющие выполнять контроль при

более грубо обработанной поверхности, например, ДАК-2Ц (при $R_z < 40$ мкм), I ИФХ-КОЛОР (при $R_z < 30$ мкм).

Вихретоковая дефектоскопия

Для проверки пороговой чувствительности дефектоскопов должны применяться первичные контрольные образцы с искусственными или естественными дефектами, размеры которых соответствуют пороговой чувствительности. Вторичные контрольные образцы служат для уточнения методики контроля, проверки работоспособности и настройки дефектоскопа. Они должны иметь дефекты, характеризующие предел реальной чувствительности дефектоскопа в конкретном случае контроля. В частности, это относится к линии сплавления ремонтных заварок, выполненных аустенитными электродами.

Измерение глубины трещины

Электропотенциальный метод. ЭПМ относится к электрическим методам контроля (ЭМК) и основан на регистрации падения потенциала. В практике контроля метод известен более 60 лет. При приложении к металлическому телу электрического напряжения в нем образуется электрическое поле. Если напряжение стабилизировано, то поле будет также стабильным. Геометрическое место точек с одинаковым потенциалом образует эквипотенциальную линию. Electroды, с помощью которых создается электрическое поле, называются токовыми.

Вихретоковый метод. В широкой практике контроля, применяемого в энергетике, вихретоковые приборы в основном используются для поиска дефектов, т.е. они настраиваются из-за их схемных решений так, что при обнаружении трещины незначительной глубины индикатор прибора резко отклоняется.

К преимуществам вихретокового метода относятся:

- возможность выполнять контроль и измерение по грубо обработанной поверхности;
- возможность выполнять измерения на криволинейных поверхностях благодаря малым размерам датчиков.

К недостатку, ограничивающему применение, следует отнести влияние краевого эффекта.

Механический метод. 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.

Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластинки-щупа (пьезокристалла) вводится в контролируемый шов [1]. При встрече с дефектным участком ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластинкой-щупом, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрический сигнал.

Эти колебания после их усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, которые свидетельствуют о наличии дефектов. По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания [2]. Ультразвуковой контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву без снятия усиления и предварительной обработки поверхности шва.

Ультразвуковой контроль имеет следующие преимущества: высокая чувствительность (1–2%), позволяющая обнаруживать, измерять и определять местонахождение дефектов площадью 1–2 мм²; большая проникающая способность ультразвуковых волн, позволяющая контролировать детали большой толщины; возможность контроля сварных соединений с

односторонним подходом; высокая производительность и отсутствие громоздкого оборудования. Существенным недостатком ультразвукового контроля является сложность установления вида дефекта. Этот метод применяют и как основной вид контроля, и как предварительный с последующим просвечиванием сварных соединений рентгеновским или гамма-излучением.

Заключение

Следует отметить, что среди перечисленных методов контроля нет такого, который гарантировал бы выявление всех дефектов сварки. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками. Например, при использовании радиационных методов контроля достаточно уверенно обнаруживают объемные дефекты небольшого размера (0,1 мм и более) и значительно хуже – несплавления, трещины и стянутые непровары (~ 35–40%). Ультразвуковой метод, наоборот, более чувствителен к плоскостным дефектам и малоэффективен при контроле конструкций с дефектами в виде пор размером 1 мм и менее. Для выявления поверхностных дефектов применяют или капиллярный, или магнитные методы контроля.

Практика показывает, что правильная организация процессов контроля, а также умелое применение того или иного метода или сочетания методов при контроле позволяют с большой надежностью оценить качество сварных соединений.

Для устранения дефектов сварных швов используют следующие приёмы:

Неполномерность швов устраняется наплавкой дополнительного слоя металла. При этом наплавляемую поверхность необходимо тщательно очистить до металлического блеска абразивным инструментом или металлической щеткой. Чрезмерное усиление шва устраняют с помощью абразивного инструмента или пневматического зубила. Непровар, кратеры, пористость и неметаллические включения устраняют путем вырубki пневматическим зубилом или расчистки абразивным инструментом всего дефектного участка с последующей заваркой. Часто применяют выплавку дефектного участка резаком поверхностной кислородной или воздушно-дуговой резки. Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами. Наплывы устраняются обработкой абразивным инструментом или с помощью пневматического зубила. Наружные трещины устраняются разделкой и последующей заваркой. Для предупреждения распространения трещины по концам ее сверлят отверстия. Разделку трещины выполняют зубилом или резаком. Кромки разделки зачищают от шлака, брызг металла, окалины и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубают и заваривают заново. При наличии сетки трещин дефектный участок вырезают и взамен сваркой накладывают заплату.

Литература

1. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. – Москва, 2005. – 148 с.
2. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия: Справочное пособие. – Минск, Вышэйшая школа, 1987. – 378 с.
3. Солнцев Ю.П. Материаловедение: Учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войкут. – М.: МИСИС, 1999. – 600 с.

УДК 621.18-5

САР ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЯМОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

Самардак С.О.

Научный руководитель – ассистент Зеленин Д.С., ассистент Денисов С.М.

Подогреватель теплофикационной сетевой воды предназначен для её подогрева до требуемой температуры, значение которой задают в зависимости от температуры наружного воздуха. Подогреватель – поверхностный теплообменник, по змеевикам которого с помощью сетевого насоса прокачивают воду. Снаружи змеевики обогревают паром. Источником греющего пара обычно служат отборы паровых турбин или резервирующие их РОУ. Основной регулируемой величиной подогревателя служит температура прямой сетевой воды *t_{c.в.}*, которую необходимо поддерживать на заданном уровне с высокой точностью, диктуемой в основном условиями экономичной работы теплофикационных турбин. Сетевая вода циркулирует обычно по замкнутому контуру: насос – подогреватель – тепловая сеть – насос. При этом неизбежные потери в тепловой сети восполняют за счёт подпиточной воды, которая поступает на всас сетевых насосов под избыточным давлением. Потери воды в сети имеют характер случайных и неконтролируемых возмущений. Поэтому желательно предусматривать автоматическое регулирование расхода подпиточной воды в зависимости от давления обратной сетевой воды.

Регулирование температуры прямой сетевой воды можно осуществлять тремя способами.

При первом регулятор температуры получает сигнал по *t_{c.в.}* и воздействует на перемещение регулирующей заслонки на трубопроводе греющего пара. Для обеспечения требуемой точности поддержания значений регулируемой величины при этом варианте могут потребоваться относительно большие перемещения регулирующей заслонки, что может привести к существенным колебаниям давления пара источника. Чтобы избежать этого, температуру прямой сетевой воды можно регулировать перепуском части обратной сетевой воды через клапан в обвод подогревателя в трубопровод прямой сетевой воды, т.е. смешением подогретого и холодного потоков сетевой воды.

Второй способ регулирования кроме инерционности регулируемого участка позволяет сохранить неизменный расход греющего пара и тем самым способствует стабилизации давления в теплофикационных отборах турбины. Однако этот метод не экономичен и эффективен лишь при значительных перепадах температур обратной и прямой сетевой воды (20–30 °С). Для регулирования *t_{c.в.}* обычно используют ПИ-регуляторы с автоматическим или ручным изменением задания в зависимости от температуры наружного воздуха.

В третьем, наиболее экономичном, способе регулирования *t_{c.в.}* происходит изменением давления пара в теплофикационном отборе при полностью открытой регулирующей заслонке. Давление пара в отборе изменяют с помощью системы регулирования паровой турбины и специального автоматического задатчика температуры, действующих в зависимости от электрической нагрузки турбогенератора и температуры наружного воздуха.

Регулирование температуры будет осуществляться на аппаратуре Siemens Simatic S7-1200. Приборы Siemens широко применяются в системах автоматизации объектов промышленной энергетики и теплоснабжения, а также на более мощных энергетических установках

При автоматизации сетевых подогревателей одной из основных задач является регулирование температуры сетевой воды на выходе из подогревателей.



Рисунок 1 – Программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7-1200

Регулирование температуры сетевой воды за подогревателями осуществляется путем дросселирования греющего пара или перепуском части сетевой воды в обход подогревателей (Рисунок 2). Первый метод применяется при регулировании температуры сетевой воды за пиковыми подогревателями, второй метод – за основными подогревателями, когда выключены пиковые. При этом обеспечивается меньшее колебание давления греющего пара и уменьшается инерционность регулируемого объекта. В обоих случаях применяются ПИ-регуляторы.

Пароводяные подогреватели в первом приближении можно рассматривать как инерционные объекты с запаздыванием. Схемы регулирования температуры сетевой воды представлены на рисунке 2:

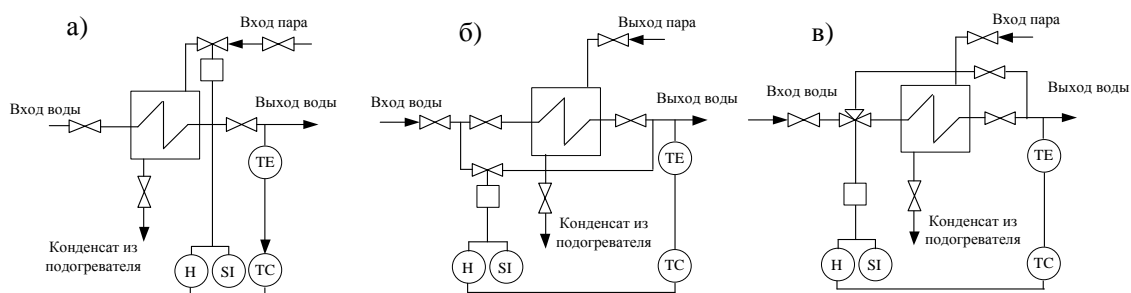


Рисунок 2 – Схемы регулирования температуры сетевой воды за подогревателями: дросселированием греющего пара (а), перепуском части воды в обход подогревателя помощью регулирующего клапана на обводной линии (б), с помощью трехходового регулирующего клапана (в)

В основных и пиковых сетевых пароводяных подогревателях требуется поддерживать уровень конденсата, в допустимых пределах исходя из условий оптимального теплообмена в подогревателе и исключения возможности заброса воды в трубопровод греющего пара. Участок регулирования подогревателя по уровню конденсата является интегрирующим звеном. Для регулирования уровня применяются ПИ-регуляторы.

Объектом автоматизации являются два последовательно включенных подогревателя сетевой воды с контролем промежуточной температуры.

Подогреватель сетевой воды ПСВ предназначены для подогрева сетевой воды на тепловых электростанциях, в отопительно-производственных и отопительных котельных.

Подогреватели сетевой воды ПСВ устанавливаются в схеме теплоснабжения и подогревают сетевую воду на тепловых электростанциях паром из отборов турбин, а в отопительно-производственных и отопительных котельных паром котлов низкого давления. В подогревателе сетевая вода движется по теплообменным трубкам, а греющий пар поступает через пароподводящий патрубок в межтрубное пространство. Конденсат пара стекает в нижнюю часть корпуса и отводится из подогревателя через регулирующий клапан, управляемый электронным автоматическим устройством. Аппаратура автоматического регулирования уровня конденсата поддерживает нормальный уровень конденсата в корпусе, выпускает избыток конденсата в дренажную сеть и препятствует выходу пара из корпуса. Накапливающиеся в подогревателе неконденсирующиеся газы отводятся через патрубок на корпусе.

Внедрение данного проекта автоматизации позволяет получить технический, экономический и социальный эффект. При этом под экономическим эффектом будем понимать технический эффект, выраженный в денежных единицах.

Технический эффект автоматизации проявляется как на самом технологическом оборудовании, так непосредственно и на технических средствах автоматизации в виде следующих составляющих:

1. Повышения экономичности работы технологического оборудования, уменьшения расхода топлива на выработку энергии.
2. Надёжность работы технологического оборудования, как уменьшение числа отказов.
3. Долговечность работы технологического оборудования, как увеличение срока службы.
4. Повышение безопасности работы технологического оборудования.

Социальный эффект автоматизации проявляется в освобождении человека-оператора от тяжёлого физического труда, а в последнее время и от части интеллектуального.

Экологический эффект: использование внедренной автоматики повышает КПД сетевых подогревателей, что уменьшает общий расход на них пара, за счет чего снижается количество сжигаемого топлива для производства пара, а, следовательно, и выбросы вредных веществ в атмосферу.

Литература

1. Плетнёв Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнёв. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с., ил.
2. Рогач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Рогач. - 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 400 с., ил.

УДК 621.311

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Семук П.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Система уплотнений паровой турбины предназначена для исключения поступления атмосферного воздуха в вакуумную систему через концевые уплотнения цилиндров, а также для предупреждения выхода пара в атмосферу из цилиндров с избыточным его давлением в них.

С появлением многоцилиндровых турбин на повышенные и сверхкритические начальные параметры пара ручное управление вентилями и наблюдение за многочисленными «вестовыми» трубами стало затруднительным. Кроме того, сами «вестовые» трубы были признаны неэстетичными, а выход пара из них был причиной повышенной влажности в машинном зале, поэтому было решено автоматизировать работу уплотнений: уплотняющий пар стали подавать через общий регулятор давления с контролем давления и температуры пара, а отвод паровоздушной смеси из внешних камер уплотнений выполнили в «сальниковый» охладитель, переименованный впоследствии в конденсатор пара уплотнений (КПУ).

Такие решения были реализованы на одной из 1-х многоцилиндровых турбин на сверхкритические параметры пара – турбине К-300-240-1 ЛМЗ.

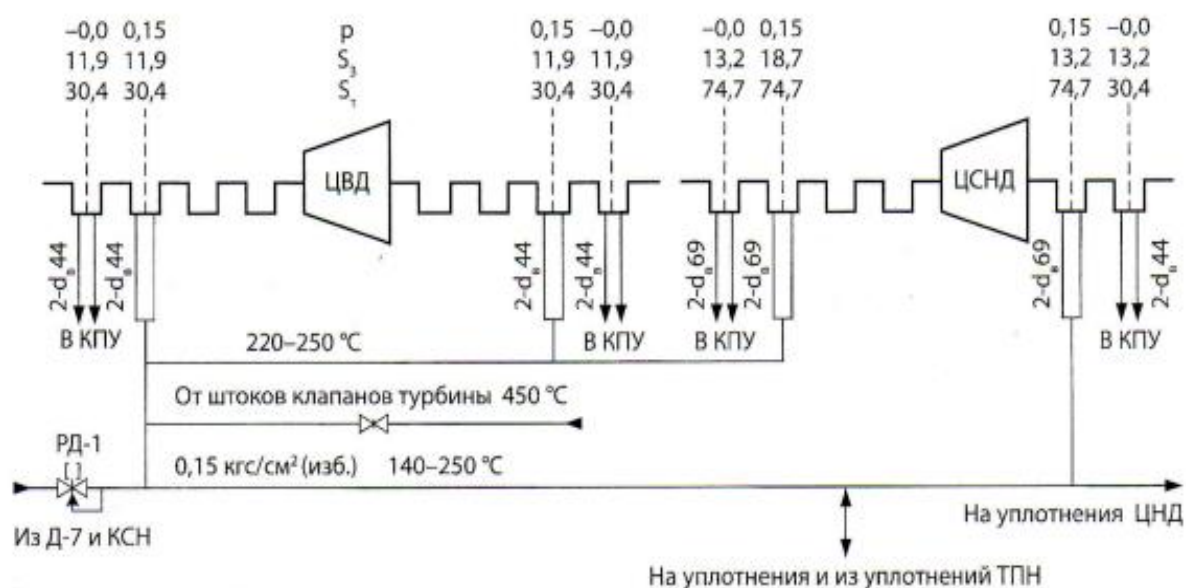


Рисунок 1 – Принципиальная проектная схема подвода пара к уплотнениям турбины К 300-240-1 ЛМЗ: p – расчётное давление в камерах уплотнений, кгс/см²(изб.); S_z и S_r – проходная площадь сечения соответственно зазора уплотнений и трубопроводов камер, см²

Наиболее серьёзный недостаток проектной системы уплотнений заключался в том, что при работе турбины элементы камер ПКУ ЦСД омываются паром с температурой 500–530 °С, поступающим в уплотнения из зоны паровпуска ЦСД, в который подводится пар после промежуточного перегрева с температурой 540 °С. В особо неблагоприятных условиях находится обойма между камерами отвода протечек пара в вакуумный отбор и подачи уплотняющего пара с температурой 200–280 °С. Градиент температур в ней превышает 200 °С (рисунок 2).

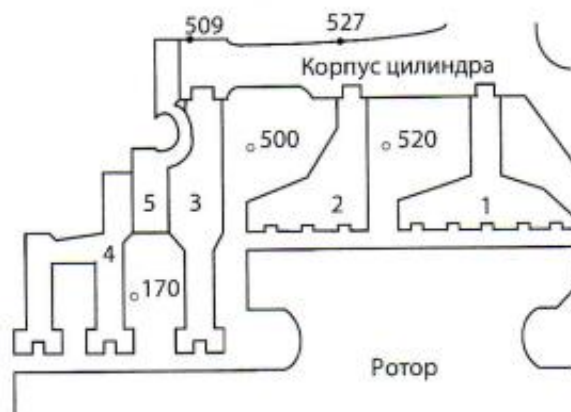


Рисунок 2 – Температурный режим ПКУ ЦСД при проектной схеме уплотнения ° – температура металла, °С; ° – температура пара, °С; 1,2,3 – обоймы уплотнений, 4 – каминная камера, 5 – соединительное компенсирующее кольцо.

Вследствие повышенного градиента температур имеют место деформации элементов ПКУ ЦСД, обусловленные высокими термическими напряжениями в них, особенно в пусковых режимах, после аварийных остановов и при сбросах нагрузки до режима холостого хода.

Успешное решение проблемы ПКУ ЦСД было найдено на ЛГРЭС с участием завода-изготовителя турбины – ЛМЗ.

С целью снижения температуры среды в камеру протечек пара уплотнений в вакуумный отбор ПКУ ЦСД подведен пар с температурой не выше 260 °С из такой же камеры ЗКУ ЦВД. Для обеспечения циркуляции охлаждающего пара из ЗКУ ЦВД в нижней части камеры ПКУ ЦСД установлена перегородка, отделяющая подвод охлаждающего пара от отвода пара из этой же камеры в вакуумный отбор.

Благодаря изменению конструкции и схемы уплотнения «горячая» зона отодвигается вглубь ПКУ ЦСД, где расположены массивные и мало подверженные деформации детали, а температура металла в зоне узла соединения корпуса каминной камеры и ЦСД снижается на 100–110 °С. Это позволяет исключить соединительное компенсирующее кольцо при установке каминной камеры, что повышает ремонтпригодность уплотнения.

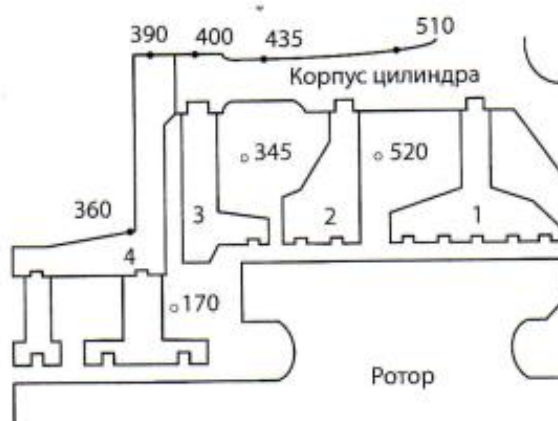


Рисунок 3 – Температурный режим ПКУ ЦСД при модернизированной схеме уплотнения турбин К 300-240-1 ЛГРЭС: ° – температура металла, °С; ° – температура пара, °С; 1,2,3 – обоймы уплотнений, 4 – каминная камера.

Опыт эксплуатации, модернизированной схемы уплотнений показал её высокую эффективность в части предупреждения деформации элементов ПКУ ЦСД, исключения присосов воздуха и выхода пара через уплотнения ЦВД и ПКУ ЦСД. Удовлетворённость достигнутыми результатами привела к прекращению дальнейших работ по повышению эко-

номичности уплотнения турбин К-300-240-1 ЛМЗ на ЛГРЭС. Совершенствование систем уплотнения проводилось ЛМЗ в 1975–1990 годы и на других модификациях, выпускаемых многоцилиндровых паровых турбин. Такие работы были направлены в основном на реализацию принципа «самоуплотнения», при котором в режиме нагрузок турбины выше 0,4 номинальной, уплотнения обеспечиваются собственным паром, а подача пара от постороннего источника на эти уплотнения производится только в пусковых и остановочных режимах. По данным, применение самоуплотнения позволяет уменьшить расход пара в отбор на деаэратор на 1,1–1,2 т/ч, что увеличивает дополнительную выработку энергоблоком порядка 2 500 000 кВт·ч электроэнергии в год без изменения расхода теплоты.

Работы по самоуплотнению начались на электростанциях в период освоения турбин К-300-240-1 ЛМЗ после установки регулирующего клапана РД-2 на трубопроводе отвода протечек пара из уплотнений в вакуумный отбор.

В режиме пуска турбины пар на уплотнения подаётся из КСН при открытой разделительной задвижке и закрытом регулирующем клапане РД-2. Давление пара в «горячем» и «холодном» коллекторах поддерживается РД-1. При увеличении нагрузки турбины до 0,3–0,4 номинальной открывается подача пара на уплотнения из Д-7 и закрывается от КСН. С достижением нагрузки 0,6 номинальной разделительная задвижка закрывается по блокировке, и давление пара на уровне 0,15 кгс/см² (изб.) в «горячем» коллекторе поддерживается РД-2 с отводом пара из уплотнений ПКУ ЦВД и ПКУ ЦСД в VII отбор.

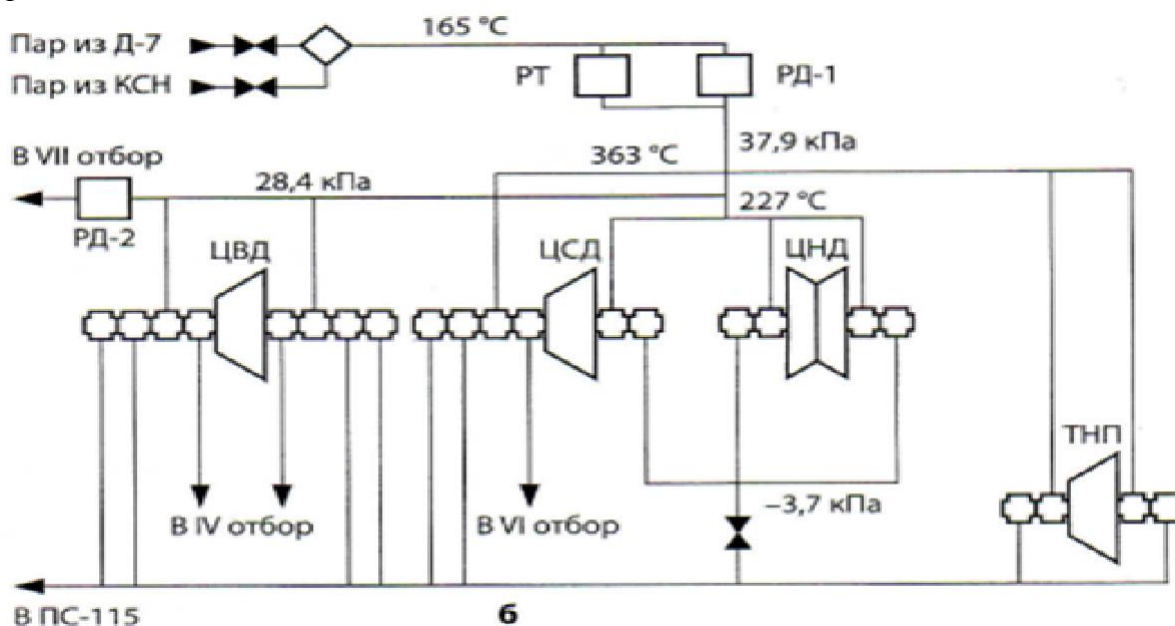


Рисунок 4 – Схема концевых уплотнений турбин К 300-240-1 ЛМЗ ст. №7 ЛГРЭС: р – давление избыточное, кПа; Т – температура, °С

В схеме уплотнений турбин К-300-240-1 ЛМЗ ЛГРЭС были установлены 2 РК подачи пара на уплотнения: 1-й – на уплотнения ЦВД и ПКУ ЦСД; 2-й – на уплотнения ЧНД. При реализации схемы самоуплотнения турбины РК на уплотнения ЦВД используется в качестве РК регулятора температуры. На турбинах К-300-240-1 ЛМЗ других электростанций схема полного самоуплотнения турбины может быть реализована с использованием 1 РК на трубопроводе подачи пара на уплотнения турбины (рисунок 5), в схему управления которого через переключатель вводятся сигналы от РД-1 и РТ (рисунок 6).

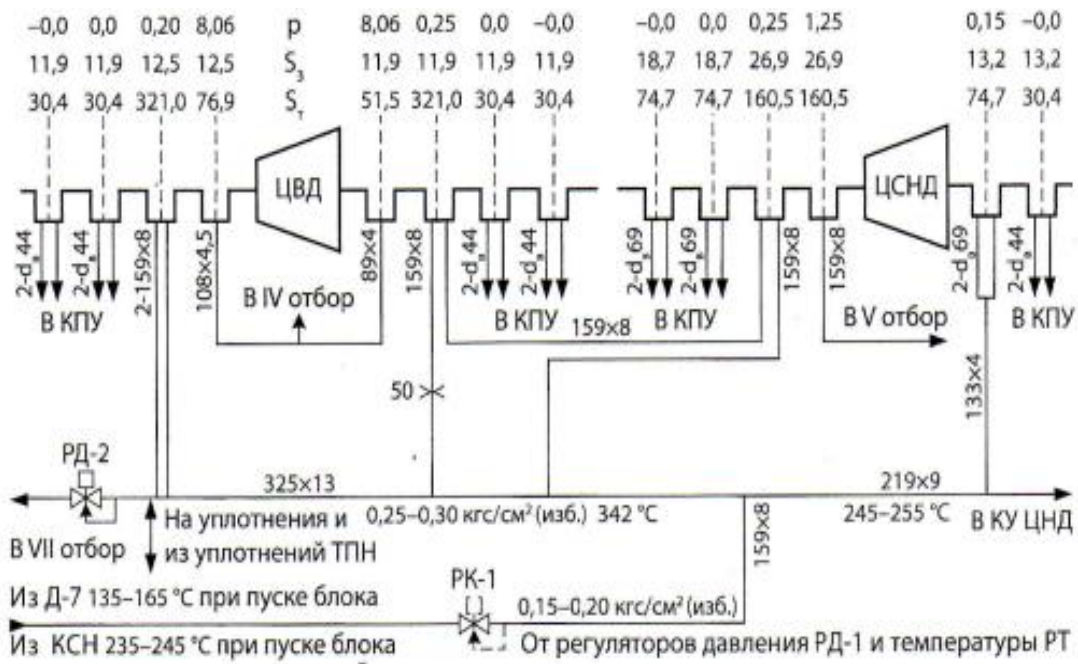


Рисунок 5 – Рекомендуемая схема концевых уплотнений турбин К 300-240: p – давление избыточное, кПа; S_3 и S_7 – проходное сечение зазоров и трубопроводов, см²

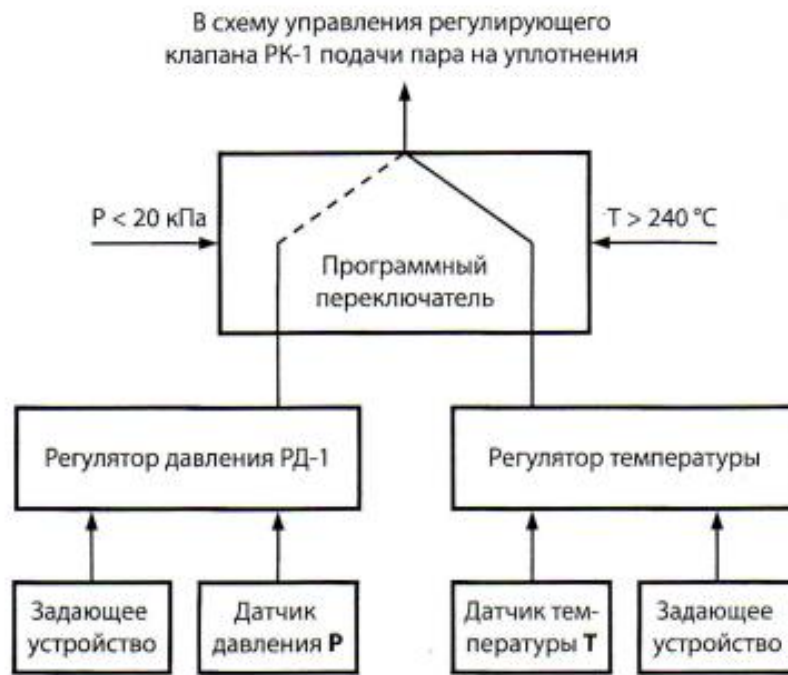


Рисунок 6 – Принципиальная схема автоматического регулирования давления и температуры пара на уплотнения ЧНД турбин К-300-240

Литература

1. Озерец А.В., Герасимов В.В., Базыленко А.А. Становление и развитие электрической станции. – Рифтур, 2009.

УДК 621.165

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛЮЧЁННЫХ ТУРБИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ ТЭЦ

Соловей Д.Н., Поджаров А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Характерной особенностью энергетики **Беларуси, как и других стран европейской части постсоветского пространства**, последних десятилетий, является **резкое** снижение потребления производственного пара **от ТЭЦ промышленными предприятиями**. Это приводит к снижению экономических и эксплуатационных показателей промышленно-отопительных ТЭЦ, а для установленных на таких ТЭЦ противоаварийных турбин типа Р-50-130, а также турбин типа ПТ-135-130, спроектированных на работу со значительным отпуском пара в производственный отбор и имеющих ограничения по пропускной способности ЧСД – к заметному снижению их электрической мощности и даже к длительным простоям.

Простаивающее оборудование не только не дает прибыли, но и требует затрат на поддержание его в рабочем состоянии, на содержание эксплуатационного персонала, на амортизацию, налоги и пр. Особенно серьезной проблемой является стояночная коррозия и проблемы ремонта запорной арматуры.

Таким образом, в настоящее время при возрастании энергопотребления вопрос о вводе в строй простаивающих турбин, имеющих значительный резерв паркового ресурса, стоит особенно остро и решение этого вопроса позволит по существу провести техническое перевооружение основного оборудования ТЭЦ с минимальными затратами.

Возможными вариантами решения проблемы является:

- установка новой приключенной турбины, питающейся паром из стационарного коллектора с давлением около 0,7–1,5 МПа;
- использование в качестве приключенных турбин других установленных на станции турбин после их реконструкции – преимущественно тех, у которых ЧВД нуждается в замене, а ЧСД и ЧНД допускают дальнейшую эксплуатацию.

Такое техническое решение позволяет:

- вырабатывать дополнительную электрическую мощность в ЧВД турбин типа Р и ПТ за счет увеличения расхода пара противоаварийного (производственного отбора) и, соответственно, свежего пара;
- вырабатывать дополнительную электрическую мощность в приключенной турбине;
- увеличить тепловую мощность теплофикационных отборов за счет отработанного пара приключенной турбины, если она выбрана с противоаварийным давлением.

При реконструкции тепловой схемы и паровых турбин Светлогорской ТЭЦ применили наименее затратное по капитальным вложениям решение.

В середине 90-х годов Светлогорская ТЭЦ стала одной из многих станций, где из-за утраты потребителя производственного пара более экономичная очередь 140 ата (турбина Р-50-130/13 и ПТ-60-130/13) фактически перестала эксплуатироваться. Ситуация усугублялась тем, что имеющаяся очередь 100 ата (турбины Р-45-90, Т-45/50-90) на тот момент имела наработку основного турбинного оборудования более 250 тысяч часов.

Выходом из сложившегося положения могла стать установка новых турбин типа «Т» на очереди 140 ата, однако значительные финансовые затраты на подобное техническое перевооружение станции заставили искать более приемлемые пути решения проблемы.

ООО «Комтек-Энергосервис» предложил реконструировать турбины Р-45-90 и Т-45/50-90 (ВК-50-90-3) на работу паром 10 ата, который планировалось брать с выхлопа турбины Р-50-130/13 [1]. При этом, в связи с ограниченным финансированием, в конструкцию турбин вносились минимальные изменения.

Модернизации турбин Т-45/50-90 ст. № 3 и № 4 заключается в следующем (рисунок 1):

- срезаются диски рабочих колес 2–11 ступеней, рабочие лопатки по корневому диаметру 1 и 12 ступеней (диск 1-ой ступени оставляется для балансировки, диск 12-ой ступени оставляется на случай возможного восстановления в работе 12-ой ступени);
- модернизируется переднее уплотнение;
- удаляются регулирующие и стопорные клапаны и сопловые сегменты;
- перед турбиной устанавливаются регулирующий и стопорный клапаны рассчитанные на пропуск пара 10 ата, выбираемые из клапанов изготавливаемых заводами;
- в турбину через дополнительно организованный подвод подается пар 10 ата;
- изменяется система регулирования;
- удаляются ПВД-1, ПВД-2 и ПВД-3 и модернизируется тепловая схема;
- генератор переводится на охлаждение воздухом.



Рисунок 1 – Объем реконструкции турбины в приключенную (с переводом ее на работу с пара 90 ата на пар 10 ата из общестанционного коллектора)

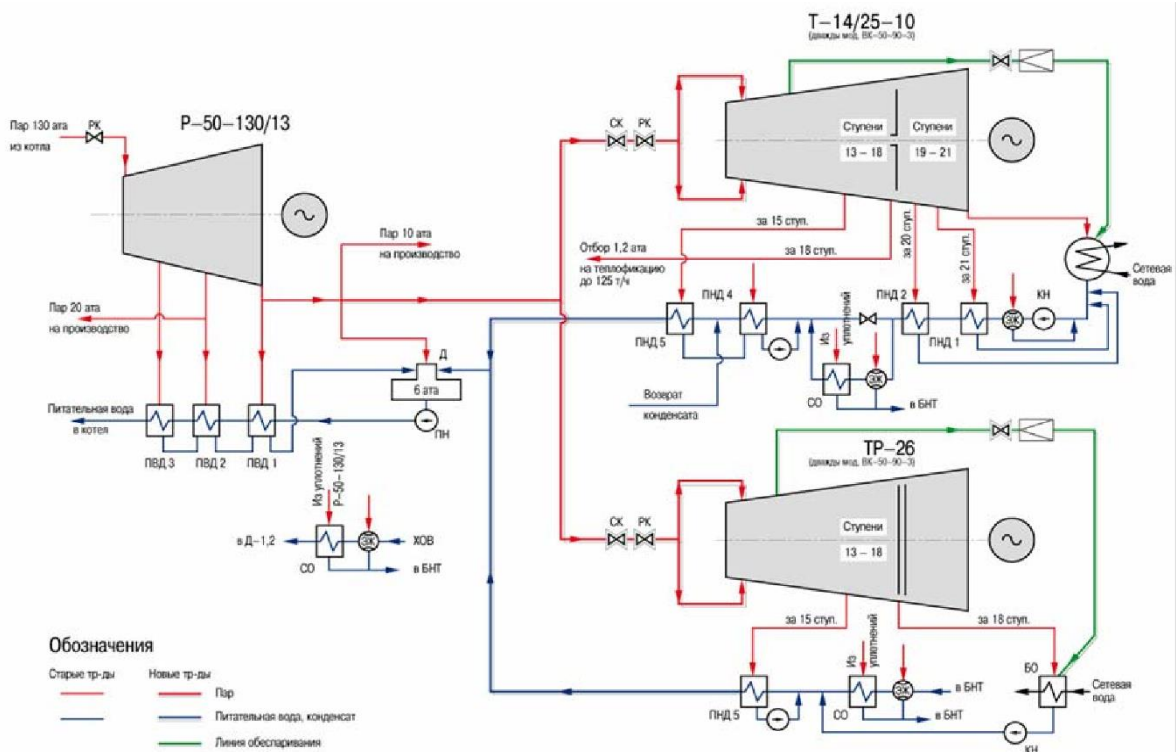


Рисунок 2 – Тепловая схема Светлогорской ТЭЦ после модернизации

Модернизация тепловой схемы ТЭЦ заключается в следующем (рисунок 2):

- турбина P-50-130-1ПР1 ст. № 6 связывается трубопроводами 10 ата с турбинами Т-45/50-90 ст. № 3 и № 4;
- турбина P-50-130-1ПР1 ст. № 6 связывается с турбинами Т-45/50-90 ст. № 3 и № 4 по питательной воде и основному конденсату
- организуются линии обеспаривания турбин Т-45/50-90 ст. № 3 и № 4.

Таким образом, соединенные по пару, конденсату и питательной воде турбины ст. № 3 и № 4 стали продолжением турбины P-50-130-13, являясь её частями среднего и низкого давления или другими словами - «конденсационными хвостами».

Проведенная реконструкция позволила:

- загрузить более экономичную очередь 140 ата;
- повысить располагаемую электрическую и тепловую мощность станции;
- улучшить удельные расходы условного топлива на выработку тепловой и электрической энергии по станции;
- снять вопрос продления ресурса турбоустановок.

После реконструкции располагаемая электрическая мощность Светлогорской ТЭЦ увеличилась с 75 МВт до 151 МВт, а располагаемая тепловая мощность – с 401 до 870 Гкал/ч.

Установка новых приключенных турбин рассматривались как варианты реконструкции и других белорусских ТЭЦ, например, Новополоцкой ТЭЦ и Гродненской ТЭЦ-2.

Так, установка одной приключенной турбины Т-35/55-1,4 ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» Т-35/55-1,4 позволяет обеспечить потребление пара с давлением 15 ата и расходом 320 т/ч, что обеспечивает фактически полную нагрузку турбоагрегата типа P-50-130 с суммарной выработкой 105 МВт электрической мощности или возможностью отпуска тепла до 130 Гкал/ч (250 т/ч пара) на теплофикационном режиме [2].

Конструкция турбины Т-35/55-1,4 может иметь различные модификации для возможности ее установки на существующие фундаменты демонтированных турбин (рисунок 3).

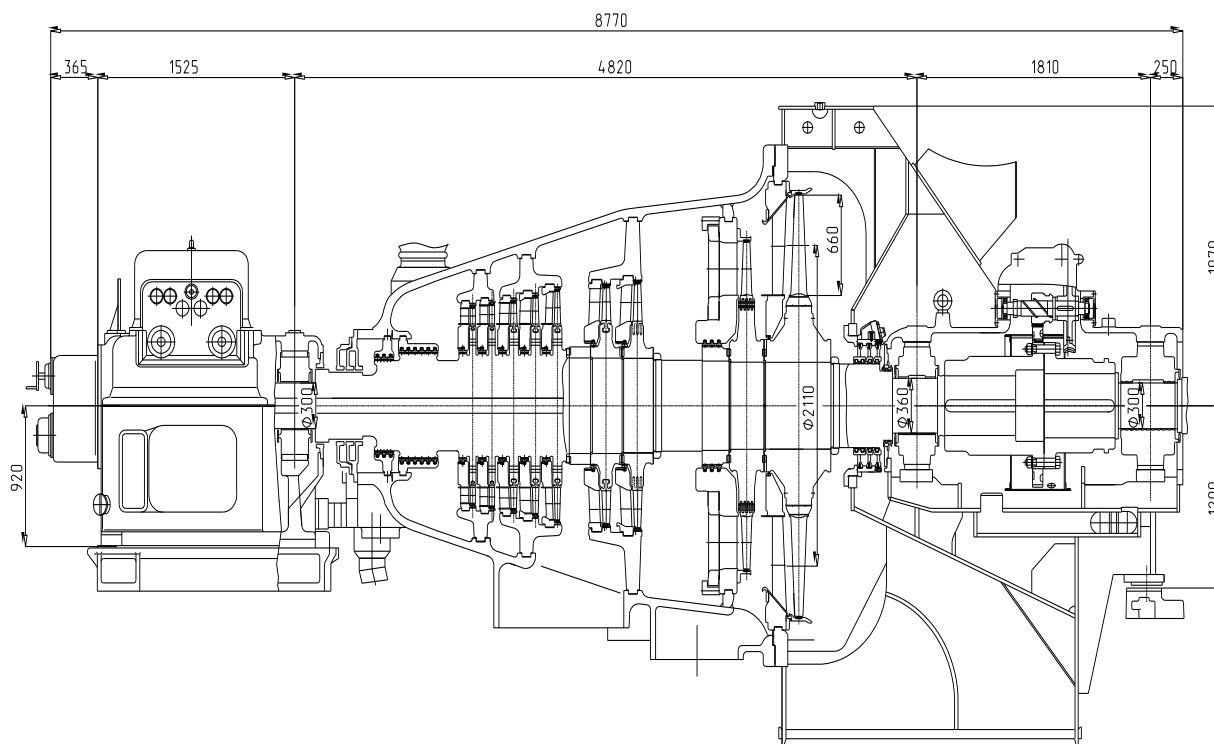


Рисунок 3 – Общий вид турбины Т-35/55-1,4

Приключенная турбина типа К-50-1,6, может работать на отработавшем паре из общестанционного коллектора давлением в 16 ата, запитанным от производственного отбора турбин типа ПТ-135-130/15 или выхлопа паровой турбины типа Р-50-130/15.

Выбор типа турбины – «Т» или «К» – обуславливается требуемой величиной отпуска теплоты от ТЭЦ на нужды теплофикации.

Применение турбин мягого пара на промышленно-отопительных ТЭЦ в условиях сокращения отпуска пара на производство позволяет полностью загрузить имеющиеся турбины типа «Р» и «ПТ» высокого давления, обеспечивая их работу на наиболее экономичном расчетном режиме. При этом увеличение электрической и тепловой мощности теплоэлектроцентралей за счет установки новых приключенных турбин или соответствующей реконструкции выработавших свой ресурс имеющихся турбин осуществляется при относительно невысоких капитальных затратах, поскольку не требуется установка новых энергетических котлов. Так, технико-экономические расчеты показывают, что срок окупаемости рассматриваемого варианта технического перевооружения ТЭЦ не превышает 5–8 лет.

Литература

1. Повышение располагаемой мощности ТЭЦ на примерах реконструкций турбин ВК-50-90-3, Р-50-130-1ПР1 и ВПТ-25-90-4 // ООО «Комтек-Энергосервис», 2006.
2. Техническое предложение по приключенной паровой турбине Т-35/55-1,45 // ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК». – Екатеринбург, 2004.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ ПУСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА

Станевич А.Т.

Научные руководители – старший преподаватель Буров А.Л., ассистент Павловская А.А.

Когда говорят о вибрации турбогенератора (ТГ), то обычно имеют в виду колебания системы, состоящей из собственно ТГ и его фундамента. Непосредственным источником колебаний является валопровод ТГ, который, вращаясь на масляной пленке подшипников, передает через нее усилия на вкладыши подшипников и их корпуса.

Повышенная вибрация ТГ может явиться источником всевозможных аварийных ситуаций и даже крупных аварий. Вредные последствия даже умеренной вибрации могут проявиться в самой различной форме. Это и появление усталостных трещин в роторе турбины и расстройство взаимного крепления частей, нарушение жесткой связи статоров и подшипников с фундаментными плитами, увеличение расцентровки валов.

Вибрация турбоагрегата может происходить во всех трех направлениях. Поэтому ее измеряют на всех подшипниковых опорах в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и горизонтально-осевом по отношению к оси вала турбоагрегата.

Горизонтально-осевую и горизонтально-поперечную вибрацию измеряют на уровне оси вала турбоагрегата против середины длины опорного вкладыша с левой стороны, если смотреть со стороны переднего подшипника. Вертикальную вибрацию измеряют на верхней части крышки подшипника над серединой длины его вкладыша.

Мерой уровня вибрации является виброскорость, определяемая как скорость перемещения элемента в момент прохождения им нейтрального положения. Измеряется в мм/сек (мкм-амплитуда колебания).

При выполнении эксперимента было использовано специальное программное обеспечения – учебная лаборатория «Турбинное отделение АЭС с ВВЭР-1000» на базе программной платформы ЭНИКАД, которая представляет собой интегрированный программно-технический и учебно-методический комплекс.

Объектом моделирования является турбоустановка К-1000-60/3000. Модель турбины позволяет воспроизводить широкий спектр нормальных режимов (пуск, останов, работа на мощности, переходы по оборудованию) и аварийных ситуаций, связанных с отказами контрольно-измерительных приборов и органов управления. Кроме того, воспроизводится ряд ситуаций, возникающих вследствие функциональных отказов отдельных технологических элементов, таких, например, как течь трубной системы в сеператорах-пароперегревателях турбины.

Модель турбины построена на основе уравнений баланса масс и энергии для наиболее инерциальных паровых объемов тракта турбины, в которых детально учтены различные режимы теплообмена рабочего тела с металлоконструкциями турбины как при наличии пленок конденсата на них, так и при их отсутствии.

Для моделирования систем трубопроводов используется программа расчетов гидравлических сетей с двухфазным теплоносителем без проскальзывания фаз, позволяющая детально учитывать геометрию трубопроводов и теплообмен с металлом труб.

Для получения вибрационных характеристик осуществлялось моделирование пуска и нагружения турбины из горячего состояния.

В начальный момент времени турбина вращается с помощью валоповоротного устройства (ВПУ) с частотой 1 об/мин. Тепловая мощность ядерного реактора составляет 90 МВт.

Перед разворотом турбины необходимо провести следующие операции:

- 1) увеличить тепловую мощность ядерного реактора до 750 МВт;
- 2) воздействием на МУТ увеличить давление в маслосистеме до 3 атм;

- 3) открыть главные паровые задвижки;
- 4) воздействием на МУТ увеличить давление в маслосистеме до 10 атм. После этого откроются регулирующие клапана.

Затем воздействием на МУТ начинаем разгон турбины со скоростью 4–5 об/(мин·с), регистрируя значения виброскорости в подшипниках турбины и генератора с занесением результатов в таблицу и обращая особое внимание на частоты при которых происходит рост вибрации в каком-либо подшипнике.

После доведения частоты вращения до 3000 об/мин проводится синхронизация и включение турбогенератора в сеть. Затем с помощью МУТ необходимо увеличить нагрузку ТГ до 40-50 МВт и открыть задвижки греющего пара СПП, ПНД и ПВД.

После этого включается медленный контур управления, затем необходимо поочередно закрыть клапана БРУ-К и перевести их в режим «Р1».

После закрытия всех клапанов БРУ-К увеличиваем тепловую мощность реакторной установки при помощи панели АРМ до 3000 МВт.

По полученным результатам строим графики зависимости виброскорости подшипников от частоты вращения турбоагрегата (рисунки 1, 2).

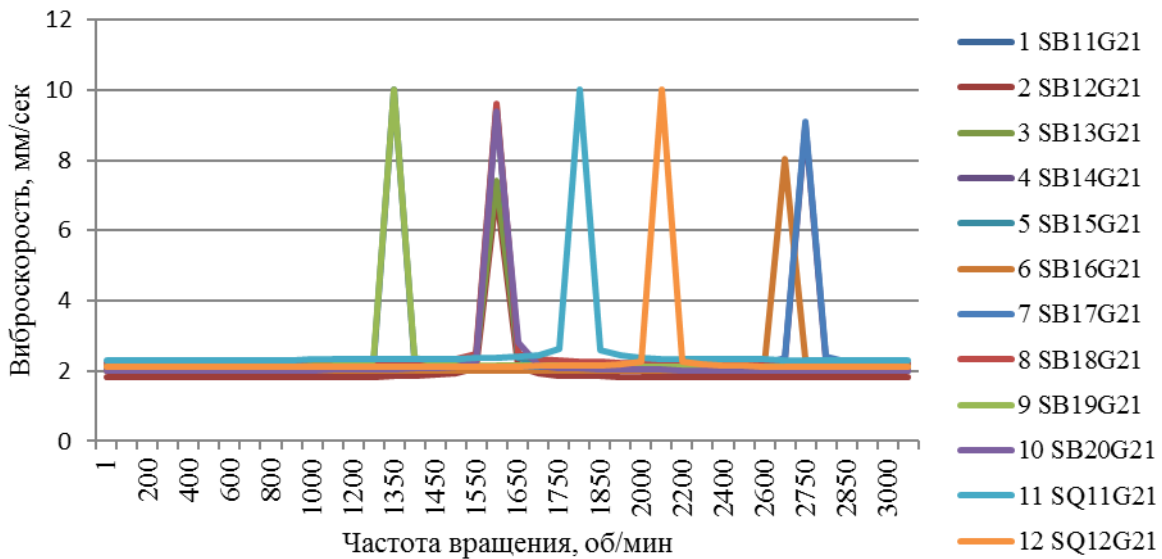


Рисунок 1 – Графики зависимости поперечной виброскорости от частоты вращения турбоагрегата



Рисунок 2 – Графики зависимости продольной виброскорости от частоты вращения турбоагрегата

Как видно из графиков все подшипники имеют критические частоты, при которых наблюдается рост продольной и поперечной вибрации. Исключением является один из подшипников ЦНД-4. Для этого подшипника критическая частота продольной вибрации не выявлена.

Критические частоты для продольной и поперечной вибрации одного и того же подшипника могут иметь разные значения.

В основном критические частоты подшипников сконцентрированы в промежутке 1600–1800 об/мин. При развороте и доведении частоты вращения турбоагрегата до номинальной данный участок необходимо проходить максимально быстро.

Литература

1. Зезюлинский Г.С. Основы эксплуатации турбинных установок атомных электростанций. Кн. 1, 2. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009.
2. Учебная лаборатория «Турбинное отделение с ВВЭР-1000». Инструкция по эксплуатации. Т.4. – М.: МАГАТЭ – НИЯУ МИФИ, 2015. – 71 с.

УДК 621.311.25

ВЕДЕНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА II КОНТУРА С ДОЗИРОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ АМИНОВ (МОРФИНА И ЭТАНОЛАМИНА) НА АЭС С ВВЭР-1000

Струй Е.В.

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

Ввод в эксплуатацию в 2018 г. Белорусской АЭС уже сейчас ставит вопрос обоснованного выбора оптимального водно-химического режима I и II контуров энергоблока ВВЭР-1000. Отсутствие своего опыта эксплуатации АЭС требует тщательного изучения зарубежных аналогов.

Надежность работы любого элемента теплоэнергетического оборудования определяется взаимным влиянием трех факторов:

- конструкцией аппарата;
- конструкционными материалами;
- водно-химическим режимом (коррозионная агрессивность теплоносителя).

Водно-химический режим АЭС является одним из важнейших факторов, влияющих на надежность, экономичность и безопасность эксплуатации. Создание и поддержание таких физико-химических свойств теплоносителей, которые способствовали бы предотвращению коррозионных повреждений конструкционных материалов оборудования и образования отложений на его поверхностях, – актуальная проблема и в настоящее время. Водно-химический режим должен быть организован таким образом, чтобы обеспечивались целостность защитных барьеров (оболочек ТВЭЛов и границ контура теплоносителя), выполнения требований к радиационной безопасности, а также надежности работы оборудования второго контура.

Важнейшими задачами организации оптимального ВХР II контура АЭС с ВВЭР являются:

- минимизация скорости коррозионно-эрозионного износа оборудования;
- повышение надежности работы оборудования;
- уменьшение выноса продуктов коррозии конструкционных материалов в парогенератор (ПГ).

Особенно сложная задача – подавление коррозии-эрозии оборудования, работающего в области влажного пара и двухфазных потоков. Поступление продуктов коррозии железа в питательную воду в основном из пароводяного тракта II контура.

Парогенератор не может быть отключен, он радиоактивен, закрыт теплоизоляцией, помещен в бокс, который расположен внутри герметичной оболочки. Свободный доступ к парогенераторам не возможен. Поэтому в ВХР II контура особое внимание уделяют парогенераторам.

Предотвращение коррозионного износа элементов II контура и, как следствие, уменьшение роста отложений на трубной системе парогенераторов во многом определяются организацией водно-химического режима II контура. Водородный показатель при рабочей температуре (pH_t) – это основной параметр для предупреждения коррозии оборудования II контура. Скорость коррозии углеродистой стали, из которой выполнена значительная часть конденсатно-питательного тракта, влияют и другие факторы, такие как температура, качество рабочей среды и концентрация кислорода.

Многочисленными исследованиями показано, что при повышении водородного показателя pH от нейтрального до щелочных значений существенно уменьшается скорость эрозионно-коррозионного износа углеродистой стали, при увеличении pH_t от 6,31 до 6,82 (на единицу по отношению к точке нейтральности) при температуре рабочей среды 150 °C скорость коррозии стали снижается почти в 3 раза.

Сложность поддержания ВХР II контура на действующих АЭС с ВВЭР-1000 связана с использованием для оборудования и трубопроводов II контура различных конструкционных материалов. Это обстоятельство не позволяет поддерживать то значение рН, которое соответствовало бы минимуму скорости коррозии для каждого из них, и вынуждает идти на принятие некоторого «компромиссного» значения и вынужденного ВХР.

Наличие медьсодержащих сплавов в конденсатно-питательном тракте не дает возможности повысить рН питательной воды, чтобы уменьшить коррозию трубопроводов и оборудования из углеродистых сталей и тем самым избежать заноса трубчатки ПГ продуктами коррозии.

Основным недостатком существовавшего до 2005 г. на всех АЭС с ВВЭР гидразинно-аммиачного (ГАР) ВХР II контура является то, что поддержание рН питательной воды осуществлялось аммиаком, полученным в результате расположения гидразина. Из-за высокой летучести аммиака при дополнительном поступлении аминов сильных кислот во II контур $pH_c = 5.7-6.2$ в объеме парогенераторов и в сепарате сепаратора-пароперегревателя (СПП) не обеспечивалось. Концентрация железа в питательной воде ПГ гидразинно-аммиачном ВХР составляла 10–12 мкг/дм³.

В 2005–2006 гг. на Ростовской и Балаковской АЭС с ВВЭР-1000 были внедрены соответственно морфолиновый и этаноламиновый водно-химические режимы II контура.

Особенности морфолинового ВХР.

При работе энергоблока в морфолиновом режиме получены следующие результаты:

- при стабильной работе энергоблока вывод железа с продувкой увеличился с 1 (при ГАР ВХР) до 7,3 количества железа, поступающего в ПГ с питательной водой;
- осаждение железа на теплообменной поверхности снизилось с 65 (при ГАР ВХР) примерно до 35 %.

Химический анализ отложений, отобранных с внутренних поверхностей ПГ со стороны II контура в 2005 и 2007 гг., показал, что по сравнению с ГАР при введении морфолинового ВХР доля оксидов меди в отложениях увеличилась почти в 2 раза (с 8,9 до 16,7 %). Это обусловлено снижением поступления железа в ПГ с питательной водой примерно на 60 %, а поступление меди осталось на прежнем уровне либо снизилось не значительно.

Особенности этаноламинового ВХР.

При внедрении этаноламинового ВХР:

- при стабильной работе энергоблока вывод железа с продувкой увеличился с 1 (при ГАР ВХР) примерно до 7 % количества железа, поступающего в ПГ с питательной водой;
- осаждение железа на теплообменной поверхности снизилось с 65 (при ГАР ВХР) примерно до 33 %.

При ведении этаноламинового ВХР наблюдается снижение процентного содержания меди в отложениях по всем контролируемым точкам. По теплообменной поверхности ПГ оно снизилось в 3,3 раза (со среднего значения 9,5 при ГАР до 2,9 %). При этом содержание железа увеличилось с 87,9 до 93 %.

Анализ работы БОУ при ведении морфолинового и этаноламинового режимов показал следующее:

- при ведении этих режимов и снижении концентрации железа в конденсате турбины целесообразно отключение электромагнитного фильтра (ЭМФ) блочно-обессоливающей установки (БОУ);
- работа фильтра смешенного действия (ФСД) БОУ в Н–ОН-форме обеспечивает эффективную сорбцию катионов и анионов;
- при одинаковом качестве ионообменных смол в загрузках ФСД и при одном и том же значении присосов охлаждающей воды в концентраторах объемы пропущенной воды через ФСД БОУ сопоставимы.

Анализ работы СВО-5 при ведении морфолинового и этаноламинового режимов показал следующее:

- при работе ниток СВО-5 в Н–ОН-форме наблюдается эффективная сорбция катионов и анионов;
- при введении морфолинового ВХР лимитирующим фактором длительности фильтроциклов ниток СВО-5 является обменная емкость анионита, при введении этаноламинового ВХР – обменная емкость катионита;
- объем пропущенной через СВО-5 при морфолиновом ВХР составил 70–110 тыс. м³, при этаноламиновом – 45–65 тыс. м³, т.е. в 1,7 раз меньше;
- для увеличения длительности фильтроциклов ниток СВО-5 в этаноламиновом ВХР целесообразно повышать объем катионита, изменяя загрузку одного анионитового фильтра, а в морфолиновом ВХР повышать объем анионита изменением загрузки катионитового фильтра.

В результате изучения опыта эксплуатации энергоблоков с гидразинно-аммиачным ВХР выявил следующие недостатки: сложность поддержания показателя рН питательной воды на уровне безопасным для конструкционных материалов оборудования, загрязнение теплоносителя оксидами железа и меди. Этих недостатков удалось избежать на Ростовской и Балаковской АЭС с ВВЭР-1000, когда на них были внедрены соответственно морфолиновый и этаноламиновый водно-химические режимы II контура.

Литература

1. Тяпков В.Ф. Ведение водно-химического режима II контура АЭС с ВВЭР на энергоблоках с отсутствием медьсодержащих сплавов // Теплоэнергетика. 2014. №7.
2. Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф., Быкова В.В. Внедрение водно-химического режима II контура с дозированием органических аминов на АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. 2009. №5.
3. Тяпков В.Ф., Шарафитдинов Р.Б. Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // Теплоэнергетика. 2007. №5.

УДК 621.18-5

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА

Харитонов А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Типовой трехимпульсный ПИ-регулятор уровня в барабане котла получил широкое распространение в области энергетики (рисунок 1)

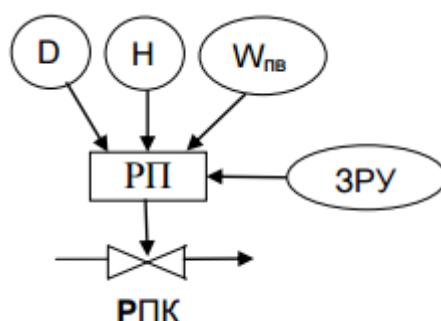


Рисунок 1 – Типовой трехимпульсный регулятор питания (ТТРП):

D – расход пара, H – уровень в барабане, $W_{пв}$ – расход питательной воды, РП – регулятор питания, ЗРУ – задание ручного управления

При этом параметры динамической настройки ПИ-регулятора расписываем по следующим формулам:

$$T_{и} = T_1; \tag{1}$$

$$K_p = \gamma \frac{T_1}{\tau_1}, \tag{2}$$

где T_1 , τ_1 постоянные времени передаточной функции по уровню в при возмущении расхода питательной воды:

$$W(p) = \frac{1}{T_1 p (\tau_1 p + 1)}, \tag{3}$$

а γ – коэффициент из рода чисел правила золотого сечения (0,618; 0,44; 0,382 и т.д.).

Переходные характеристики ТТРП при основных воздействиях:

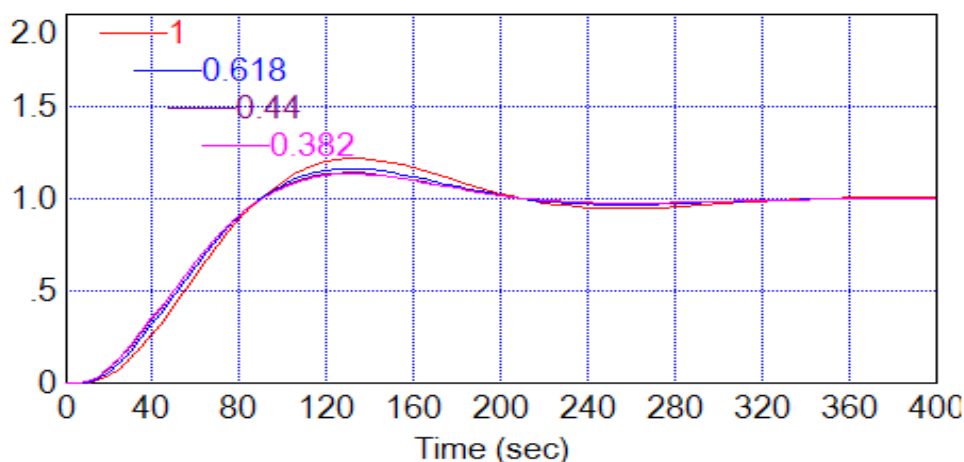


Рисунок 2 – Обработка скачка задания $X_{зд}$ ТТРП

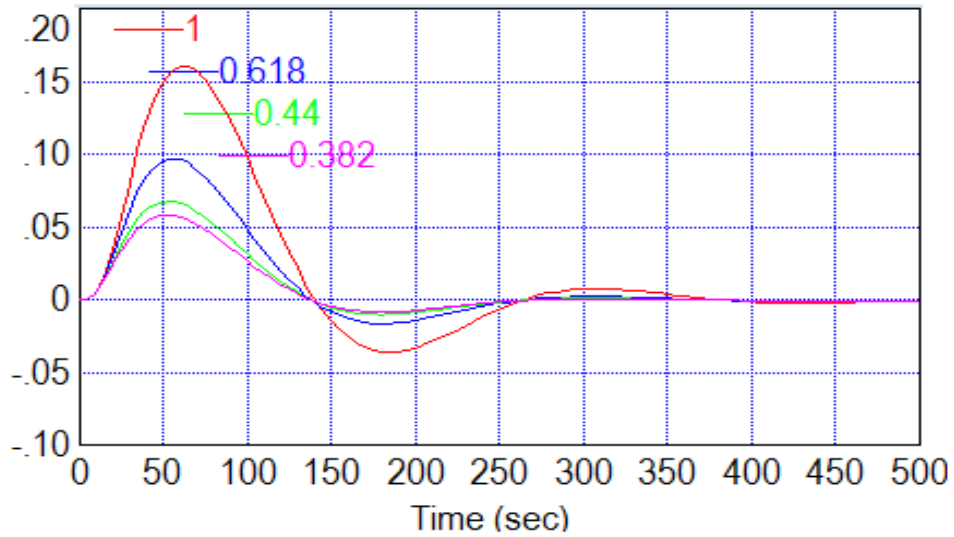


Рисунок 3 – Отработка внутреннего возмущения $f_1(t)$ ТТРП

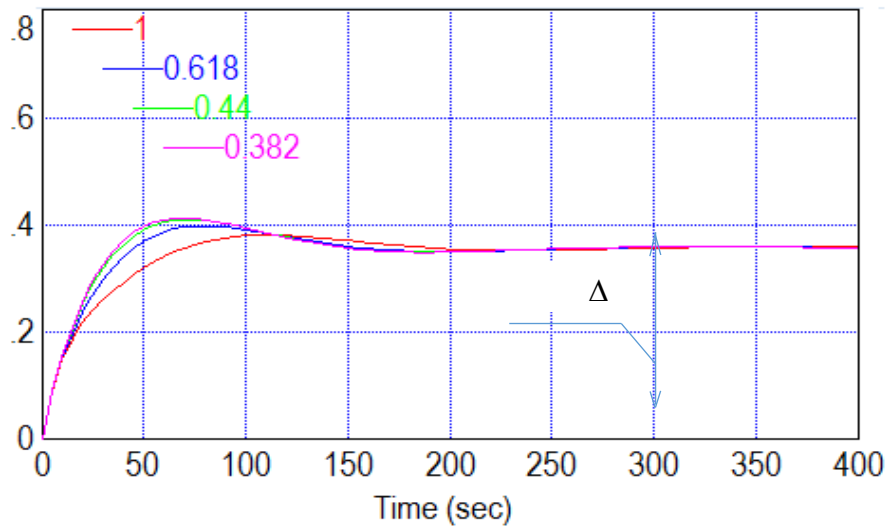


Рисунок 4 – Отработка внешнего возмущения $f_2(t)$ ТТРП

Основные недостатки ТТРП:

1. Статическая ошибка регулирования при внешнем воздействии.
2. Наличие трёх датчиков.

Для устранения данных недостатков предлагаем использовать одноимпульсную САР (ОСАР) (рисунок 5).

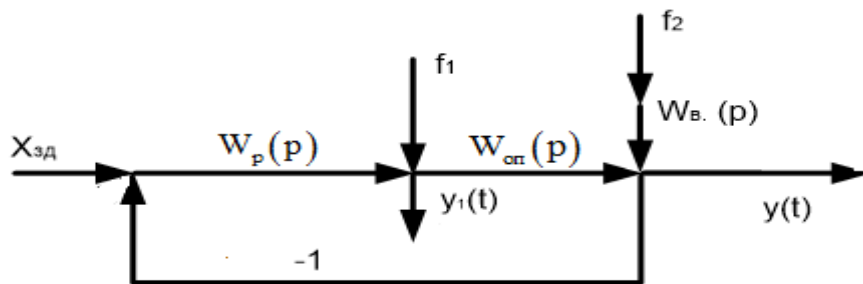


Рисунок 5 – Структурная схема моделирования одноимпульсной САР

На рисунке обозначено:

$X_{зд}$ – заданное значение регулируемого параметра;

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора, настроенная по методам БНТУ-1, БНТУ-2;

$W_1(p)$ – передаточная функция опережающего участка объекта регулирования;

f_1 – внутреннее возмущение;

f_2 – крайнее внешнее возмущение;

$W_b(p)$ – передаточная функция крайнего внешнего возмущения.

Рассмотрим переходные характеристики данного метода:

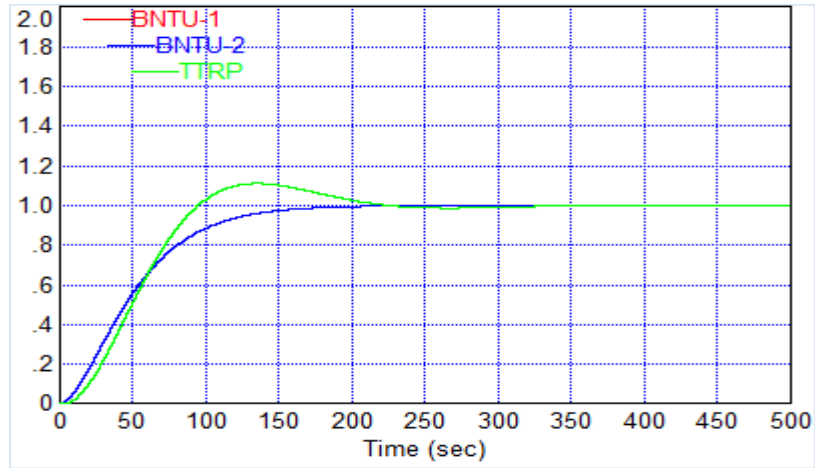


Рисунок 6 – Обработка скачка задания $X_{зд}$ ОСАР

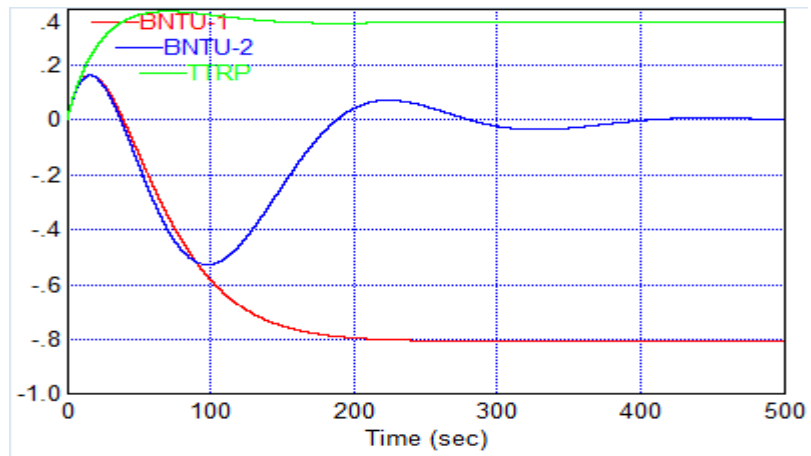


Рисунок 7 – Обработка внешнего возмущения $f_2(t)$ ОСАР

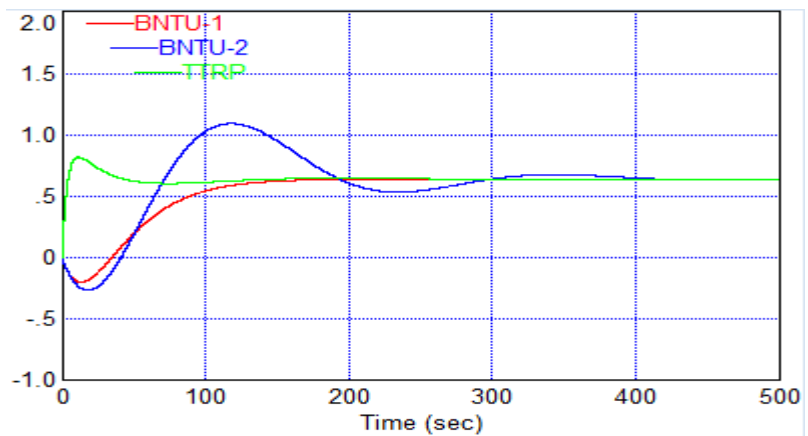


Рисунок 8 – Регулирующее воздействие X_p при обработке внешнего возмущения $f_2(t)$ ОСАР

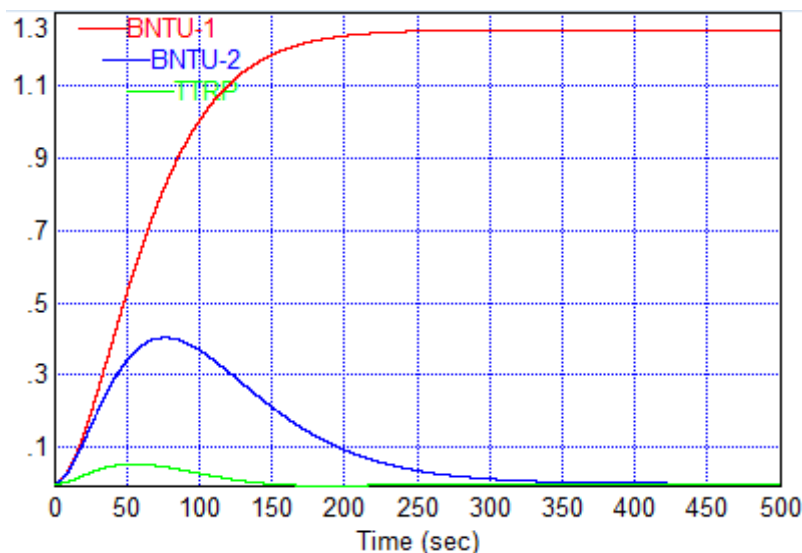


Рисунок 9 – Обработка внутреннего возмущения $f_1(t)$ ОСАР

Выводы

Предложенная ОСАР обладает характеристиками лучшими, чем ТТРП:

1. В предлагаемой ОСАР, рассчитанной по методу БНТУ-2 [2], при обработке скачка задания отсутствует перерегулирование.
2. При обработке внутреннего возмущения при одинаковой величине максимальной динамической ошибки регулирования время регулирования в предлагаемой ОСАР составляет 150 с вместо 250 с в ТТРП.
3. При обработке крайнего внешнего возмущения в ОСАР полностью исчезает статическая ошибка регулирования в конце переходного процесса.

Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГУ, 2010. – 574 с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 135 с.
3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.

УДК 539.172:543.522

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Хрюян В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

Вероятностный анализ безопасности АЭС представляет собой комплексный всесторонний системный анализ безопасности (ВАБ). В процессе ВАБ разрабатываются вероятностные модели для определения конечных состояний с повреждением источников радиоактивности, конечных состояний АЭС с превышением установленных пределов по выбросам радиоактивных продуктов и радиационному воздействию на население и окружающую среду, определяются значения вероятностных показателей безопасности. Результаты ВАБ используются для качественных и количественных оценок достигнутого уровня безопасности, а также для выработки и принятия решений при проектировании и эксплуатации АЭС [1].

ВАБ АЭС уровня 1 (ВАБ-1) – ВАБ, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели для определения конечных состояний с повреждением источников радиоактивности и оцениваются значения частот или вероятностей их реализации. В качестве основных источников радиоактивности для АЭС с ВВЭР рассматриваются ядерное топливо в активной зоне реактора и отработавшее ядерное топливо в бассейне выдержки.

Система аварийного впрыска высокого давления предназначена для подачи раствора борной кислоты в систему теплоносителя реактора при авариях с потерей теплоносителя, превышающей компенсационную способность системы нормальной подпитки, при давлении в системе теплоносителя ниже рабочего давления системы JND (ниже 7,9 МПа) [2].

Кроме того, часть трубопроводов и оборудования системы является барьером, препятствующим выходу радиоактивности за пределы герметичной оболочки.

Технологическая схема системы аварийного впрыска высокого давления представлена на рисунке 1.

Деревья отказов системы: поскольку ДО 1-го и 3-го, а также 2-го и 4-го каналов JND одинаковы, ниже приведены ДО только для 1-го канала.

Пример ДО представлен на рисунках 2–

4.

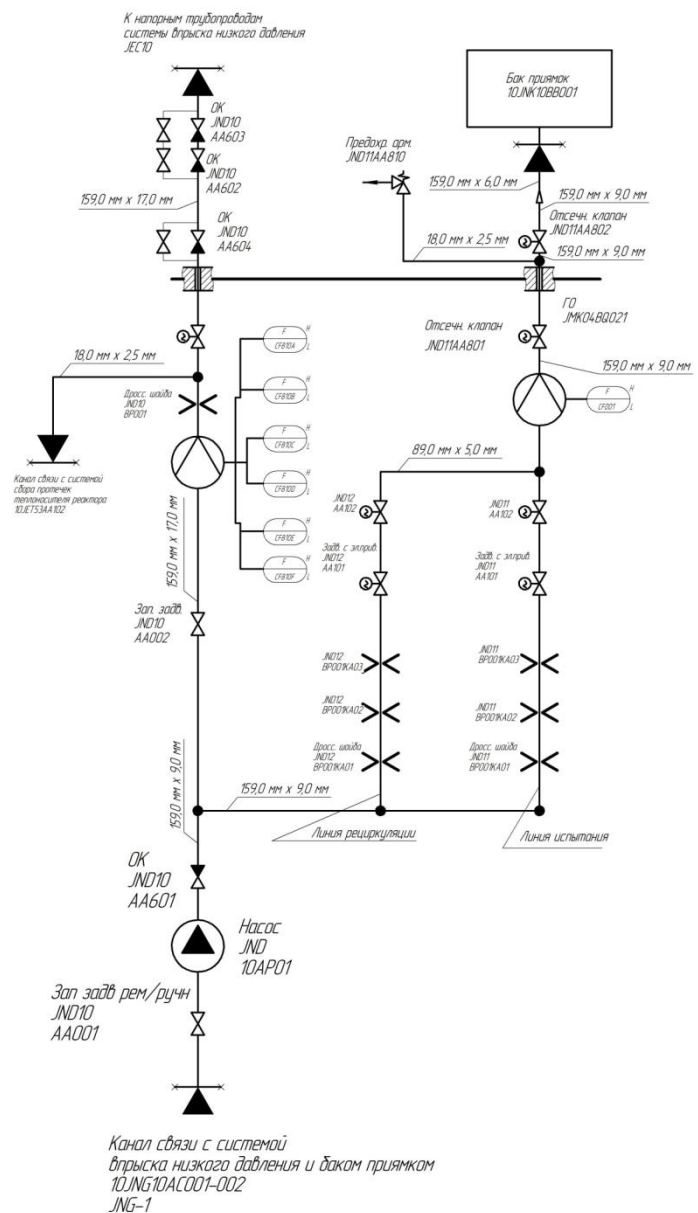


Рисунок 1 – Схема канала системы впрыска высокого давления

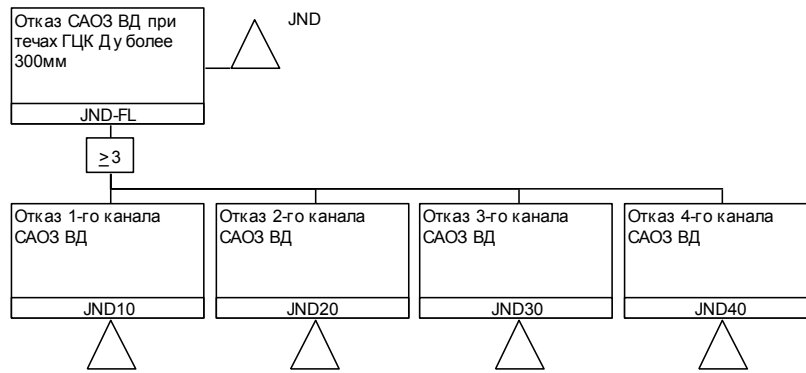


Рисунок 2 – Дерево отказов «Отказ CAO3 ВД при течах ГЦК Ду более 300 мм»

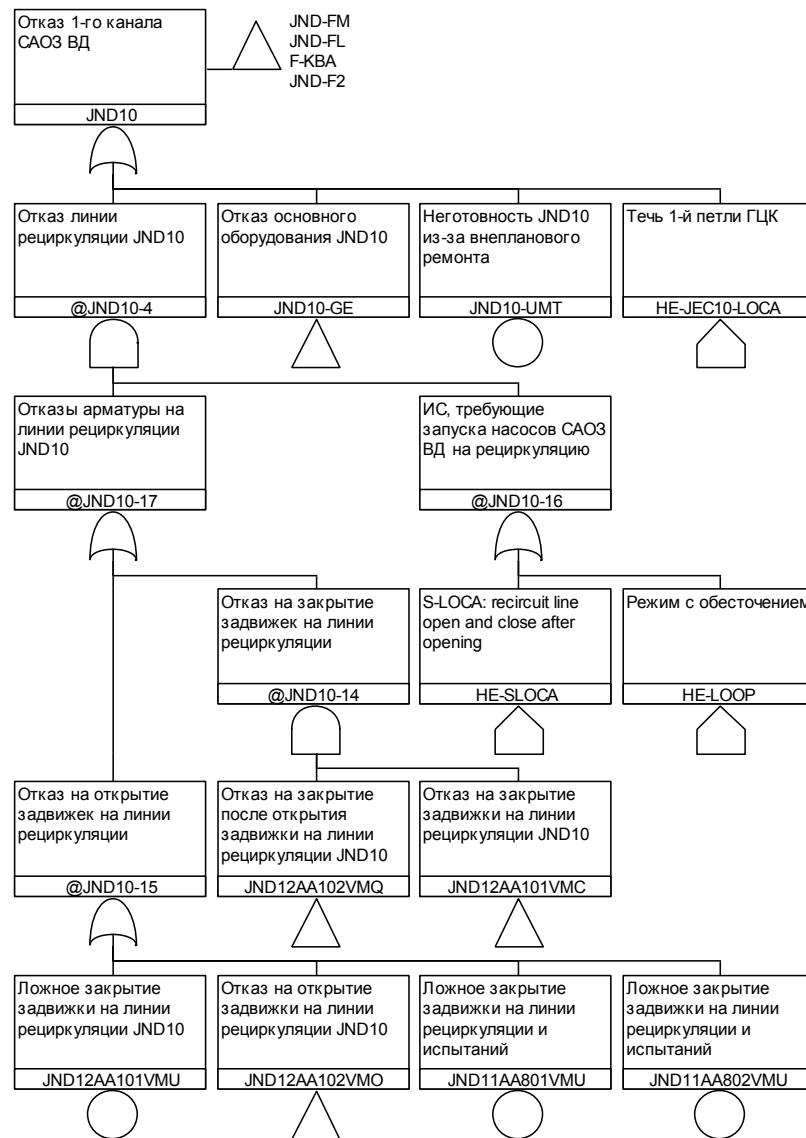


Рисунок 3 – Дерево отказов «Отказ 1-го канала CAO3 ВД»

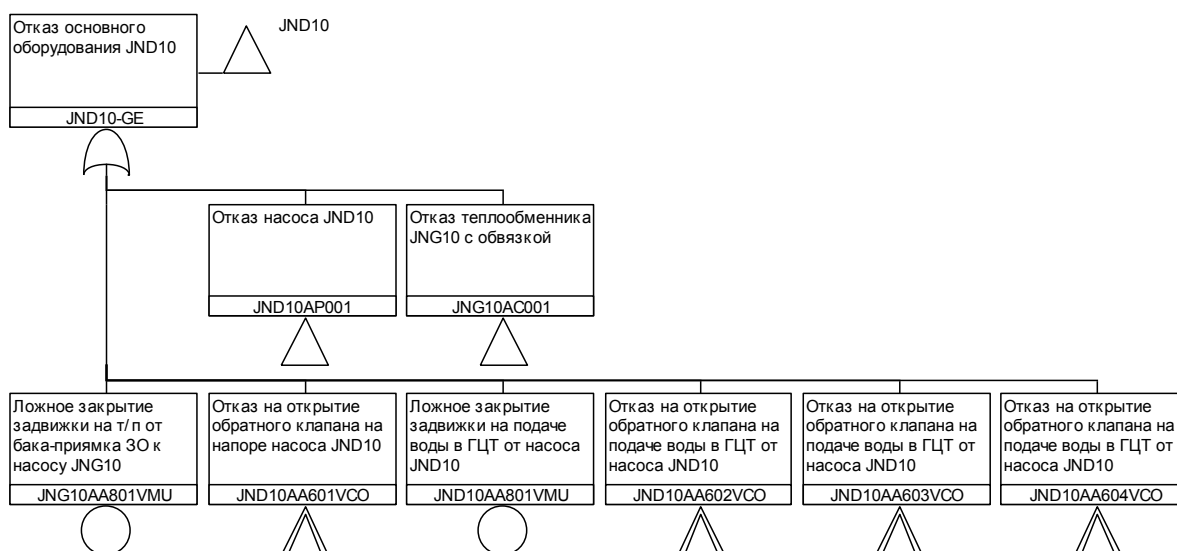


Рисунок 4 – Дерево отказов основного оборудования

Результаты расчета для ИС, связанных с течами 1-й петли ГЦК Ду свыше 300 мм.

Расчет проводился исходя из критерия успеха 1 из 4-х каналов и рассматриваемого времени работы 24 часа.

Среднее значение вероятности отказа системы по функции JND-FL при течи 1-й петли ГЦК равно: $1,00 \cdot 10^{-3}$.

В результате анализа неопределенности получены следующие параметры распределения вероятности отказа системы:

Нижняя граница (5 %): $2,57 \cdot 10^{-4}$.

Медиана: $7,45 \cdot 10^{-4}$.

Верхняя граница (95 %): $2,31 \cdot 10^{-3}$.

Литература

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ): Учебное пособие / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.М. Каденко и др. – К.: 2000. – 568 с.
2. Солонин В. И. Безопасность и надежность реакторных установок. Учебное пособие по курсу "Расчеты и проектирование ядерных энергетических установок". – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 80 с., ил.

УДК 621.0

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРИТИЧНОСТИ В ЖИДКОСОЛЕВОМ ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ С ЦЕЛЬЮ ТРАНСМУТАЦИИ МИНОРНЫХ АКТИНОИДОВ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

Научные руководители – ассистент Денисов С.М., ассистент Зеленин Д.С.

В настоящее время одной из самых трудноразрешимых проблем развития ядерной энергетики является проблема накопления отработанного ядерного топлива (ОЯТ). С каждым годом количество эксплуатируемых реакторов растёт, что влечёт за собой накопление продуктов их работы. К сожалению, несмотря на усилия некоторых стран, объём перерабатываемого на предприятиях отрасли ОЯТ растёт значительно меньшими темпами, чем его накопление. В результате, количество ОЯТ, складываемого по всему миру, по самым скромным оценкам превысило 400000 тонн. Данный объём высокоактивного ОЯТ не представляется возможным захоронить в глубоких геологических формациях по нескольким причинам:

1) ОЯТ содержит значительное количество урана и трансурановых элементов, которые пригодны для использования в реакторах.

2) Механизм устойчивости геологических формаций не позволяет рассчитать их состояние на ближайшие несколько тысяч лет, в то время как период полураспада многих составляющих ОЯТ составляет десятки и сотни тысяч лет.

3) Объём накопленного ОЯТ значительно превышает размеры планируемых и сооружаемых на сегодняшний день могильников.

Таким образом, наиболее целесообразным способом обращения с ОЯТ является его переработка с выделением как наиболее ценных, так и наиболее опасных элементов. К группе наиболее опасных элементов относятся минорные актиноиды – трансурановые элементы, которые нарабатываются в реакторах путём поглощения топливом нейтронов без последующего деления. В первую очередь к минорным актиноидам относят нептуний, америций, кюрий.

Особенностью наиболее распространённых реакторов на тепловых нейтронах является их мягкий спектр, не позволяющий осуществлять деление минорных актиноидов. На сегодняшний день технологии обращения с минорными актиноидами продвинулись вперёд, предлагается, в частности, их выжигание в реакторах на быстрых нейтронах или трансмутация при помощи нейтронов ядерного синтеза или электроядерных установок. В данной же статье акцент сделан на идее трансмутации минорных актиноидов в быстром жидкосолевом реакторе.

В настоящее время (согласно [1]) наиболее популярна идея жидкосолевых реакторов, использующих тепловые нейтроны. Это объясняется возможностью использования в таких реакторах ториевого топлива, которое работает исключительно с тепловыми нейтронами. Данный подход позволяет достичь высоких значений воспроизводства топлива, а также увеличить срок безостановочной работы реактора в несколько раз по сравнению с используемыми реакторами. Тем не менее, данный вариант не подходит для целей трансмутации минорных актиноидов, поскольку в тепловом спектре будет происходить их накапливание, а не деление. В качестве альтернативы предлагается использовать жидкосолевого реактор на быстрых нейтронах. По информации, приведенной в [2], наиболее предпочтительной композицией расплава для такого реактора выступит смесь LiF , ZrF_4 , NaF , UF_4 и фториды трансмутируемых минорных актиноидов, для удобства обозначаемые как MF_x . Предвидя вопросы ядерной безопасности, следует добавить, что непосредственно топливная загрузка является подкритической, в качестве катализатора и регулятора реакции предлагается использовать электроядерную установку, которая посылает протоны энергий

300 МэВ – 1 ГэВ в активную зону жидкосолевого реактора, выполняющую роль мишени. Схема установки представлена на рисунке 1.

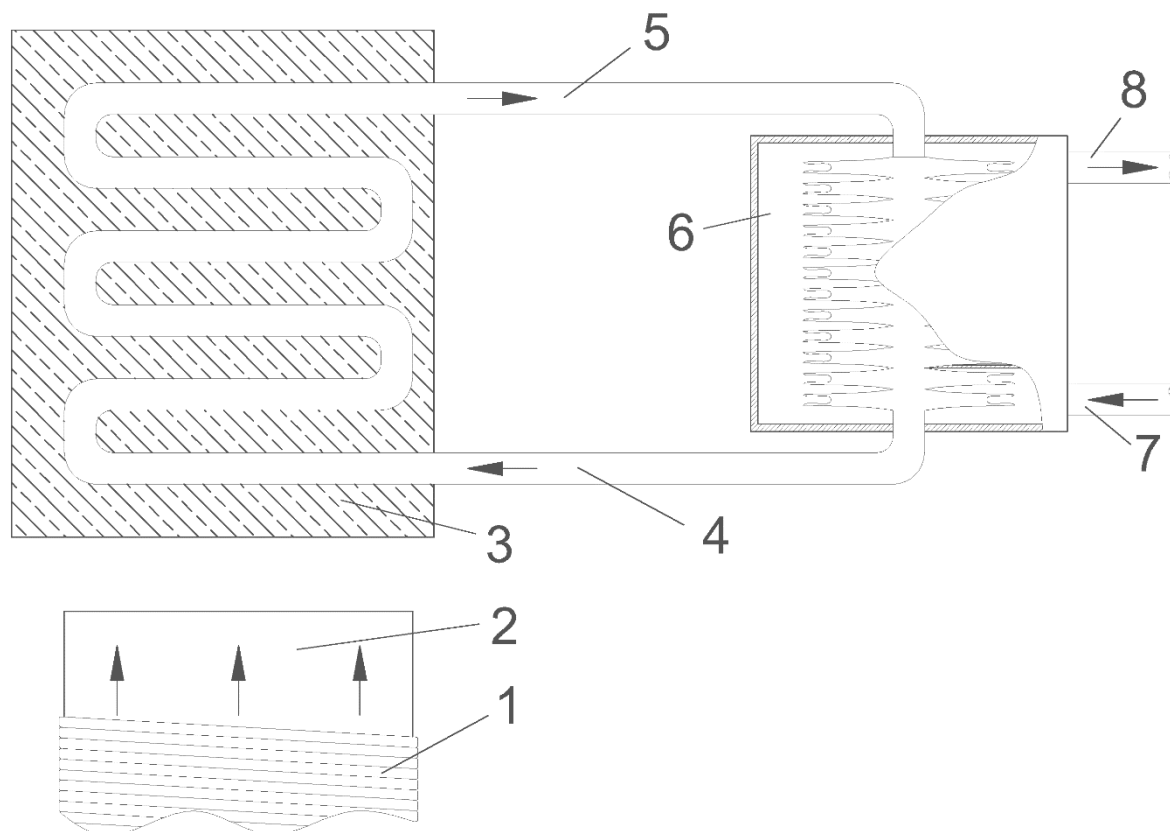


Рисунок 1 – Схема рассматриваемой системы быстрого жидкосолевого реактора и электроядерной установки

1 – ускоритель протонов; 2 – пучок ускоренных протонов; 3 – жидкосолевой реактор; 4 – входной патрубок системы охлаждения (топливной композиции); 5 – выходной патрубок системы охлаждения; 6 – теплообменник для отвода тепла (парогенератор); 7 – входной патрубок системы охлаждения теплообменника; 8 – выходной патрубок системы охлаждения теплообменника

Преимущества использования данной схемы следующие:

1) В качестве мишени используется ядерное топливо. В результате возможны реакции с вылетом большого количества быстрых нейтронов, при этом энергия нейтронов пропорциональна энергии пучка протонов.

2) Трансмутлируемые элементы добавляются непосредственно в топливную композицию, что минимизирует потери нейтронов, а также облегчает охлаждение.

3) Змеевидный патрубок позволяет сохранить запаздывающие нейтроны в активной зоне, а также увеличить продолжительность облучения топлива протонами и вторичными нейтронами.

4) Вследствие использования жидкосолевого теплоносителя возможно достижение высоких температур топлива, что позволит организовывать теплосъём с высокими параметрами (температура расплава на выходе из реактора может превышать 700 °С). В качестве теплоносителя второго контура предлагается использовать свинцово-висмутовый сплав, что позволит достичь сверхкритических параметров водяного пара при использовании воды в качестве теплоносителя третьего контура.

5) Для управления жидкосолевым реактором не требуются регулирующие стержни. Специфика работы быстрых реакторов предполагает значительную утечку нейтронов из активной зоны, что позволит вывести реактор в подкритическое состояние посредством отключения электроядерной установки от источника питания. В случае обесточивания собственных нужд (считается проектной аварией на современных АЭС) установка не будет представлять угрозу. Кроме того, вследствие организации теплосъёма предусмотрено

обеспечение естественной циркуляции теплоносителя, что позволит надёжно предотвратить саморазогрев ядерного топлива.

б) Компоновка реактора позволяет использовать нейтроны утечки для целей трансмутации других элементов, при этом расположение их наиболее рационально производить вокруг корпуса реактора.

Таким образом, использование предложенной в данной статье схемы позволяет одновременно производить выработку электроэнергии с высоким КПД, трансмутацию наиболее опасных элементов ОЯТ, а также, потенциально, решать иные задачи, такие, как производство радиоизотопов для промышленных нужд.

Литература

1. Бекман И. Н. Радиохимия, т. 2. М. – Онтопринт, 2014 г. – 400 с.
2. Бекман И. Н. Радиохимия, т. 1. М. – Онтопринт, 2011 г. – 398 с.

УДК 621.0

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАРАБОТКИ ПЛУТОНИЯ-238 ДЛЯ НУЖД КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И МЕДИЦИНЫ

Цыганкова С.Д., Стрижёва Е.М.

Научные руководители – ассистент Денисов С.М., ассистент Зеленин Д.С.

На данном этапе развития ядерных технологий радиоактивные материалы используются повсеместно. Помимо ядерной энергетики, их можно встретить в медицине, светотехнике, диагностике повреждений, во всех областях промышленности, в том числе, в космической отрасли. По своему применению радиоактивные вещества делятся на несколько категорий, наиболее важные из которых представлены ниже:

1) Излучающие – к ним относятся радионуклиды, ценность которых заключается в испускаемых ими частицах. Например, ^{60}Co нашёл своё применение при стерилизации медицинских инструментов, находящихся в герметичной упаковке – жёсткое гамма-излучение, образующееся при радиоактивном распаде данного элемента, не задерживается тонкой упаковочной плёнкой, и при этом эффективно уничтожает микроорганизмы, которые могли бы стать причиной заражения при инъекциях или в процессе медицинских операций.

2) Маркеры – как правило, это короткоживущие изотопы, которые позволяют обнаружить дефекты в оборудовании. Например, микроскопические трещины, не видимые глазом и более точным оборудованием.

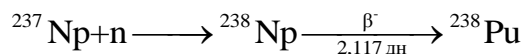
3) Источники питания – радиоактивные элементы, которые при распаде выделяют большое количество тепла. К ним относятся полоний и изотопы некоторых трансурановых элементов, наиболее распространённым из которых является ^{238}Pu . Данной категории изотопов и посвящена данная статья.

При запуске космических аппаратов важно обеспечить их надёжным источником питания. При относительно небольшом удалении аппарата от Солнца возможно использование солнечных батарей. В то же время, спускаемые аппараты, например, марсоходы, нуждаются в принципиально ином источнике питания, поскольку Солнце часто находится за горизонтом изучаемого небесного объекта. В связи с этим в качестве крайне эффективного источника питания себя зарекомендовали радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи). В них используется принцип преобразования выделяющейся при распаде радионуклида тепловой энергии в электрическую. Данные устройства нашли своё применение в космических аппаратах, а также в автономных установках, к которым осложнён регулярный доступ (например, в маяках). В то же время, сегодня существует проблема с производством необходимых для работы данных установок материалов.

Основная проблема заключается в том, что ^{238}Pu в СССР являлся побочным продуктом производства ядерного оружия (он образовывался в реакторах из ^{235}U , а затем удалялся, т.к. обладал слишком высоким тепловыделением, которое могло привести к тепловому взрыву и разрушению ядерной боеголовки). После вступления в силу договоров о нераспространении ядерного оружия производство плутония было прекращено, что привело к прекращению производства и ценного в неоружейной отрасли ^{238}Pu . В результате космическая отрасль испытывает недостаток данного изотопа. Помимо космоса, ^{238}Pu используется в качестве источника энергии в кардиостимуляторах, поскольку не обладает побочным гамма-излучением, в то время как его основное излучение – альфа-частицы – надёжно блокируется стенками аппарата. При этом неоспоримым его достоинством является длительный срок работы, что недостижимо ни для одного аккумулятора.

В качестве реального способа наработки ценного изотопа ^{238}Pu предлагается использовать трансмутационную установку на основе жидкосолевого быстрого реактора и электроядерной установки. В качестве мишени будет выступать ^{237}Np , относящийся к группе минорных актиноидов и подлежащий уничтожению в силу его способности к цепной

реакции и потенциальной возможности изготовления из него ядерной бомбы. В установке будет протекать следующая реакция:



В результате данной реакции происходит уничтожение опасного изотопа нептуния и производство ценного ${}^{238}\text{Pu}$, не представляющего ядерную опасность в силу чётного числа нуклонов в ядре. Схема предполагаемой установки для производства ${}^{238}\text{Pu}$ представлена на рисунке 1.

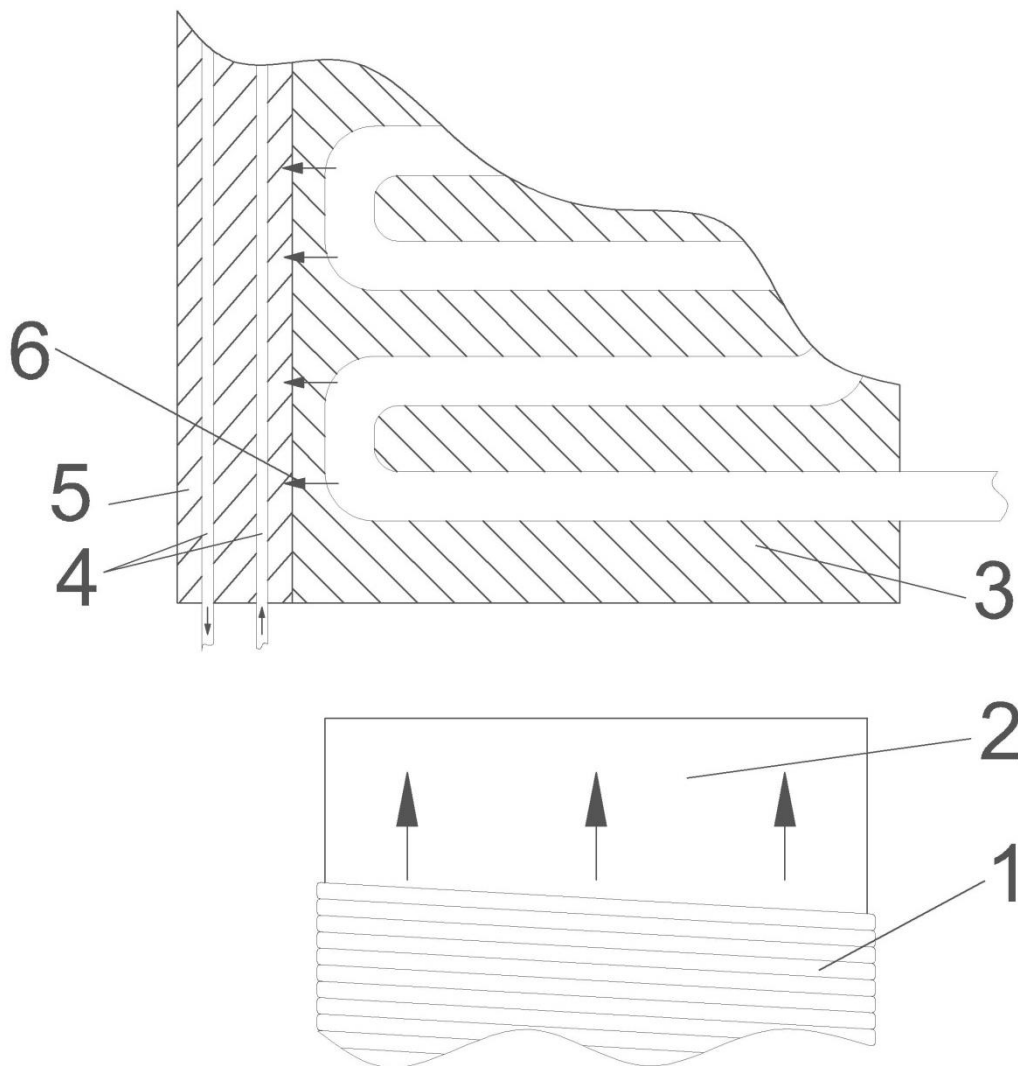


Рисунок 1 – Схема рассматриваемой системы быстрого жидкосолевого реактора и электроядерной установки

1 – ускоритель протонов; 2 – пучок ускоренных протонов; 3 – жидкосолевой реактор; 4 – трубки системы охлаждения (нептуниевой мишени); 5 – нептуниевая мишень; 6 – поток нейтронов, образующийся в жидкосолевом реакторе

Наиболее важными нюансами работы данной системы являются следующие:

1) Нептуниевая мишень должна иметь заметную толщину, буферный материал должен обладать замедляющими свойствами во избежание утечки и для повышения вероятности захвата нейтронов. Наиболее предпочтительным замедлителем является графит, более дорогим вариантом может служить тяжёлая вода, прокачиваемая через систему охлаждения мишени.

2) В случае использования минорных актиноидов в качестве топлива для жидкосолевого реактора возможно параллельное их уничтожение с процессом производства ${}^{238}\text{Pu}$. В данном случае наиболее рациональным шагом является разделение минорных

актиноидов на актиноиды с высокой атомной массой и с низкой. В таком случае нептуний и уран отделятся от америция, кюрия и части изотопов плутония, после чего с помощью химических процессов, изложенных в [1] нептуний можно сравнительно легко отделить.

3) Рекомендуется использовать отражатели нейтронов с незадействованных сторон жидкосолевого реактора, что позволит увеличить нейтронный поток в активной зоне и, как следствие, в нептуниевой мишени.

4) Работа мишени в течение длительного периода недопустима по причине наработки в ней вредных изотопов. Процесс получения ^{238}Pu в данном случае схож с процессом наработки оружейных изотопов.

В результате использования данной системы возможна наработка ценного изотопа ^{238}Pu без нарушения договоров о нераспространении ядерного оружия. Помимо этого, решается вопрос с утилизацией нептуния и других минорных актиноидов.

Литература

1. Бекман И.Н. Радиохимия, т. 2. М. – Онтонпринт, 2014 г. – 400 с.

УДК 621.438

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Шахотько В.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

В современных газотурбинных установках охлаждают практически все детали газовой турбины: ротор, подшипники, сопловые и рабочие лопатки, корпус. При охлаждении лопаточного аппарата используют не только воздух, но и в последнее время пар, дистиллированную воду, жидкие металлы (Na, Na + K), обладающие лучшими теплофизическими свойствами.

Система охлаждения газовой турбины выполняет две основные функции: непосредственное охлаждение элементов, подверженных воздействию температуры потока газов, и обеспечение экологической чистоты газотурбинной установки. В разные критические точки газовой турбины подается воздух нужного давления и температуры.

Используются несколько типов систем охлаждения:

а) система воздушного охлаждения, в которой применяется цикловой воздух компрессора, отбираемый из различных отсеков его проточной части. Если после охлаждения этот воздух выводится в проточную часть газовой турбины, такую систему называют открытой. В закрытых воздушных системах охлаждающий воздух возвращается обратно для дожатия в компрессор. Такое техническое решение возможно, если охлаждающий тракт выполнен герметичным;

б) система парового охлаждения, в которой для охлаждения используется водяной пар. Он обладает лучшими теплофизическими свойствами, чем воздух. Его применение связано со значительно меньшими потерями работы сжатия (повышение давления осуществляется в жидкой фазе);

в) комбинированная система охлаждения, в которой первая ступень лопаток (преимущественно сопловых) охлаждаются паром, отводимым обратно в тепловую схему парогазовой установки. Остальные элементы проточной части газовой турбины охлаждаются цикловым воздухом по открытой схеме.

Охлаждение лопаточного аппарата ГТУ

Охлаждение лопаточного аппарата в ГТУ необходимо ввиду больших температур рабочей среды. ГТУ с отсутствием охлаждения лопаточного аппарата нуждается в значительно более низких параметрах рабочей среды. К примеру, ГТУ с охлаждением элементов проточной части работает с температурой рабочей среды примерно 1400 °С, а без охлаждения 850–950 °С, что существенно отражается на их мощности [1].

Охлаждение рабочих лопаток

Внешнее охлаждение. Наиболее часто применяют следующие три разновидности этого способа охлаждения.

1. Теплоотвод в диск от рабочих лопаток.
2. Парциальное охлаждение, которое можно организовать при наличии двух рабочих тел: газа с высокой температурой, обеспечивающего выработку основной доли полезной работы, и газа (например, циклового воздуха или пара) с более низкой температурой, предназначенного в основном для охлаждения рабочих лопаток.

3. Струйное охлаждение лопаток.

Внутреннее охлаждение. В большинстве случаев этот способ охлаждения реализуется в виде систем открытого типа.

1. Системы охлаждения открытого типа. Впервые внутреннее охлаждение рабочих лопаток было использовано в 1942 г. на немецком ГТД ЮМО-003, а несколько позднее на отечественном двигателе РД-20, где охлаждаемая пустотелая лопатка имела внутренний вставной дефлектор.

В охлаждаемых рабочих лопатках, серийного авиационного ГТД «Спей» английской фирмы «Роллс-Ройс», охлаждающий воздух поступает через хвостовик (ножку) в несколько продольных каналов эллиптического сечения 1, пройдя которые, он выбрасывается в радиальный зазор 2 представленный на рисунке 1. При начальной температуре газа 1070°C и расходе воздуха $g_{\text{охл}} = 2\%$ такая система обеспечивает глубину охлаждения лопаток до 220°C .

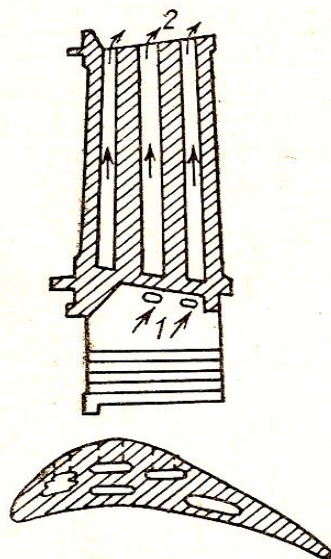


Рисунок 1 – Рабочая лопатка с продольным течением охладителя фирмы «Роллс-Ройс» (Англия): 1 – ввод охладителя; 2 – вывод охладителя

Более равномерное распределение температуры в лопатке обеспечивается при поперечном движении охладителя, когда входная и выходная кромки профиля могут быть охлаждены более интенсивно. На рисунке 2 схематически показана дефлекторная охлаждаемая рабочая лопатка с поперечным движением охладителя, разработанная под руководством К.В. Туманского. Для снижения температуры выходной кромки в этой лопатке применен струйный обдув, воздух выбрасывается через щели в выходной кромке 2. Эти мероприятия позволяют существенно снизить температуру кромок и выровнять температурное поле лопатки.

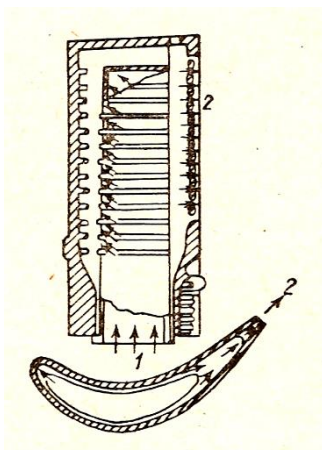


Рисунок 2 – Дефлекторная охлаждаемая рабочая лопатка с поперечным движением охладителя: 1 – ввод охладителя; 2 – вывод охладителя

Значительные возможности воздействия на распределение температур имеются в лопатках гильзовой конструкции, в которых более нагруженный несущий стержень имеет более низкую температуру. Наружная тонкостенная оболочка крепится к стержню обычно в хвостовой части лопатки и усилия от газовых сил также передает стержню.

Для охлаждения рабочих лопаток используется также пленочное и пористое охлаждение. Так, пленочное охлаждение входной кромки рабочей лопатки применено на авиационном двигателе Т-39 фирмы «Дженерал-Электрик» с начальной температурой газа 1260 °С. Эта лопатка представляет собой многоканальную конструкцию с выпуском воздуха через отверстия на входную кромку.

Системы охлаждения закрытого типа

По принципу действия различают одно- и двухконтурные системы охлаждения закрытого типа. В одноконтурных системах охладитель отбирает теплоту непосредственно у охлаждаемого элемента, а в двухконтурных – у промежуточного теплоносителя, который циркулирует в охлаждаемом элементе.

Системы охлаждения закрытого типа выполняются с принудительной и естественной циркуляцией, представленной на рисунке 3. В первом случае движение охладителя вызывается главным образом перепадом давлений, создаваемым внешним источником энергии, во втором случае – за счет термосифонного эффекта. Этот эффект создается тем, что к охладителю подводится тепловой поток от охлаждаемого элемента, который вызывает изменение его плотности, а поле центробежных сил обеспечивает интенсивную циркуляцию.

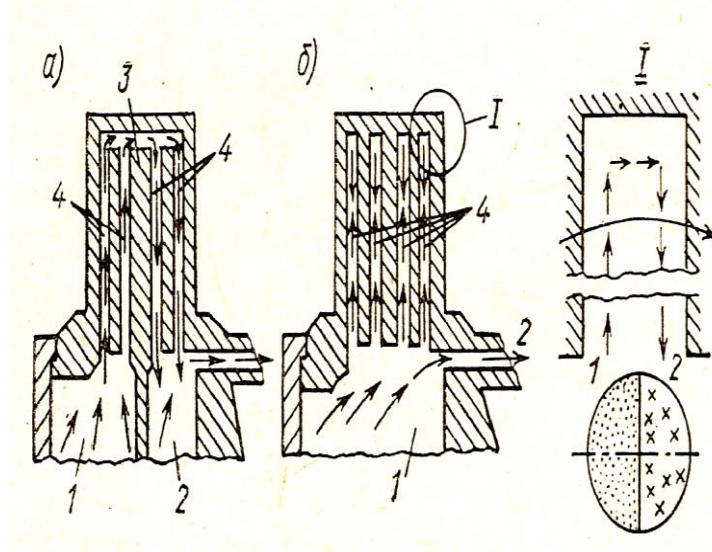


Рисунок 3 – Рабочие лопатки с системой охлаждения закрытого типа:

а – с принудительной циркуляцией; б – с естественной циркуляцией:

- 1 – зона подвода охладителя; 2 – зона отвода охладителя; 3 – разделительная перегородка;
4 – охлаждающие каналы

Термосифонный эффект используется также в двухконтурных системах охлаждения лопаток. В этом случае в теле лопатки 1 имеются глухие каналы 2, заполненные теплоносителем первого контура (обычно дистиллированной водой или натрием). В нижней части лопатки размещен радиатор 3, который омывается охладителем второго контура. Во время работы турбины к перу лопатки от горячего газа подводится теплота, а от радиатора она отводится. При этом за счет вращения во внутренних глухих каналах имеет место интенсивная естественная циркуляция охладителя первого контура (термосифонный эффект), которая обеспечивает передачу теплоты от пера лопатки к охладителю второго контура.

Охлаждение сопловых лопаток

В дефлекторных сопловых лопатках с конвективной системой воздушного охлаждения может быть достигнуто снижение средней температуры лопаток по сравнению с температурой газа на 130–150 °С при относительном расходе охлаждающего воздуха $g_{охл} = 2\%$.

С увеличением начальной температуры газа требуется все большая глубина охлаждения сопловых лопаток первой ступени турбины. При температуре газа более 1000–1150 °С необходимо дополнительно к конвективному вводить пленочное охлаждение.

Дальнейшее увеличение эффективности охлаждения турбинных лопаток может быть достигнуто при использовании пористого охлаждения. Конструктивно пористое охлаждение решается по схеме гильзовых лопаток, в которых основные нагрузки воспринимает относительно холодный несущий стержень 1, а тонкостенная наружная оболочка 2 образует профильную часть. Между стержнем и оболочкой предусмотрены каналы для пропуска охлаждающего агента 3.

Охлаждение корпуса ГТУ

Охлаждение корпуса ГТУ необходимо, так как температура рабочей среды велика. Если рассмотреть ГТУ без охлаждения корпуса, то можно предположить значительный нагрев корпуса и как следствие, появление трещин, а это потери тепла в окружающую среду, а именно в маш. зал, что в дальнейшем будет пагубно влиять на рабочий персонал, обслуживающий данную ГТУ. Помимо всего прочего, есть место присутствию термических расширений металла корпуса ГТУ, что может привести к задеванию корпуса ГТУ о рабочие лопатки, движущиеся с большой скоростью, что в свою очередь не допустимо.

Охлаждение дисков и роторов ГТУ

Выполнение дисков и цельнокованых роторов больших размеров из жаропрочных материалов (аустенитных сталей и сплавов) затруднено ввиду опасности появления дефектов. Кроме того, жаропрочные сплавы обладают сравнительно низкой теплопроводностью и большим коэффициентом линейного расширения. Такое сочетание свойств не позволяет производить быстрое изменение нагрузки ввиду появления больших термических напряжений. Поэтому диски и цельнокованные роторы выполняют обычно из сталей перлитного или ферритного классов, обладающих более благоприятными характеристиками, но допускают значительно более низкие температуры – порядка 500–550 °С. Это вынуждает применять охлаждение дисков даже при сравнительно низких температурах газа.

Литература

1. Соколов В.С. Газотурбинные установки: Учебное пособие – М.: Высшая школа, 1986. – 151 с., ил.

УДК 621.165

ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В КАЧЕСТВЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ИХ РЕСУРСА

Шишло В.А., Гульницкий В.В.

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

Тепловые сети, являясь составной частью системы централизованного теплоснабжения современных городов, представляют собой сложные инженерные сооружения, предназначенные для транспортировки тепловой энергии от источников тепла к потребителям. Основными элементами тепловых сетей являются трубопровод, состоящий из стальных труб, соединенных между собой с помощью сварки; изоляционная конструкция, предназначенная для защиты трубопровода от наружной коррозии и тепловых потерь, и несущая конструкция, воспринимающая вес трубопровода и усилия, возникающие при его эксплуатации.

Трубы являются наиболее ответственными элементами трубопровода и должны отвечать следующим требованиям:

достаточная прочность и герметичность при максимальных значениях давления и температуры теплоносителя;

низкий коэффициент температурных деформаций, обеспечивающий небольшие термические напряжения при переменном тепловом режиме тепловой сети;

малая шероховатость внутренней поверхности;

антикоррозионная стойкость;

высокое термическое сопротивление стенок трубы, способствующее сохранению теплоты и температуры теплоносителя;

неизменность свойств материала при длительном воздействии высоких температур и давлений;

простота монтажа, надежность соединения труб и др.

Имеющиеся стальные трубы не удовлетворяют в полной мере всем предъявляемым требованиям, однако их механические свойства, простота, надежность и герметичность соединений (сваркой) обеспечили им преимущественное применение в тепловых сетях [1].

Анализ результатов комплексных обследований теплоснабжающих предприятий Республики Беларусь, показывает, что тепловые сети являются на сегодня одним из самых ненадежных элементов системы теплоснабжения города. Основная причина в физическом износе трубопроводов тепловых сетей, а также в некачественном выполнении работ, в многочисленных нарушениях технических нормативно-правовых актов (ТНПА) в процессе проектирования, эксплуатации, ремонта и замены тепловых сетей.

Срок службы трубопроводов, смонтированных с нарушением ТНПА, снижается в 8–10 раз. В результате, вместо вложения денег, которых и так выделяется недостаточно на замену трубопроводов, отслуживших 25 лет и более, приходится ремонтировать сети, отслужившие 5–6 лет [2].

В тепловых сетях применяются бесшовные горячекатаные и электросварные трубы (прямошовные и со спиральным швом) с различной толщиной стенки. Бесшовные горячекатаные трубы выпускаются с наружными диаметрами 32–426 мм, а электросварные – с наружными диаметрами более 426 мм. Бесшовные горячекатаные и электросварные трубы используются при всех способах прокладки сетей. Электросварные со спиральным швом рекомендуются к использованию при канальных и надземных прокладках сетей.

Ранее в тепловых сетях применялись только термообработанные трубы. В настоящее время термообработка труб тепловых сетей не является обязательным техническим

требованием, поскольку она не отражена в действующих в Республике Беларусь нормативных документах. Проведение термообработки увеличивает стоимость труб на 15–30 %, по сравнению с нетермообработанными. Это привело к тому, что уже в проекты закладываются трубы без требований по проведению термической обработки труб, что существенно сказывается на качестве прокладываемых тепловых сетей и ресурсе их эксплуатации.

Необходимость проведения термической обработки труб была обусловлена рядом факторов:

- снятие остаточных сварочных напряжений;
- снятие напряжений механической деформации;
- повышение коррозионной стойкости.

Как показал опыт эксплуатации тепловых сетей, основной причиной повреждаемости тепловых сетей являются коррозионные повреждения. Причем повреждаемость коррозией наблюдается как на наружной стороне трубопроводов (атмосферная, почвенная, электрокоррозия), так и на внутренней стороне труб (язвенная, стояночная). В последнее время также наблюдается повреждение трубопроводов из-за коррозии под напряжением, которая возникает в зоне сварного шва и околошовной зоне. Вероятно, одной из причин снижения коррозионной стойкости труб, является отказ от проведения термической обработки.

Вопросам исследования влияния остаточных напряжений в сварных трубах на их несущую способность в условиях стресс-коррозии металла труб до последнего времени практически не занимались. Более того, контроль остаточных напряжений в сварных трубах осуществлялся периодически и очень редко. Данный параметр никогда не нормировался, не учитывался при расчетах и не контролировался при технологических операциях в процессе изготовления сварных труб [3].

С целью исследования остаточных сварочных напряжений в лаборатории кафедры «Тепловые электрические станции» были проведены экспериментальные исследования.

Для измерения напряжений использовали метод магнитной структуроскопии, основанный на использовании корреляционных связей между физико-химическими или механическими характеристиками объекта контроля и одной или несколькими магнитными характеристиками контролируемого материала [4]. В качестве исследуемой магнитной характеристики использовали коэрцитивную силу. Коэрцитивная сила (H_c) – напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания предварительно намагниченного до насыщения ферромагнетика.

В последние годы коэрцитиметрия стала широко применяться для контроля, напряженного состояния металлоконструкций опасных производственных объектов различного назначения, что является весьма актуальным для технической диагностики. К примеру, основными источниками разрушения труб поверхностей нагрева и сосудов, работающих под давлением, являются зоны концентрации напряжений, в которых процессы коррозии и усталости протекают наиболее интенсивно. В местах концентрации напряжений происходит повышение коэрцитивной силы.

При проведении испытаний использовали магнитный структуроскоп (коэрцитиметр) КРМ-Ц-К2М; измерительный преобразователь (магнитный датчик); калибровочные образцы КР-1 и КР-2; карманный персональный компьютер; компьютерная



Рисунок 1 – Комплект оборудования для оценки напряженного состояния металла

программа «Монитор обмеров», образцы для контроля (рисунок 1).

В качестве образцов для контроля использовались плоские образцы из стали 20 и стали 17Г1С со сварными швами, выполненными ручной электродуговой сваркой. Схема образцов представлена на рисунке 2. Распределение коэрцитивной силы в исследуем образце показано на рисунке 3.

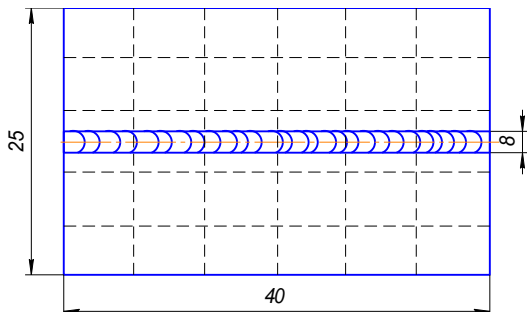


Рисунок 2 – Схема образцов для контроля напряжений в сварном образце

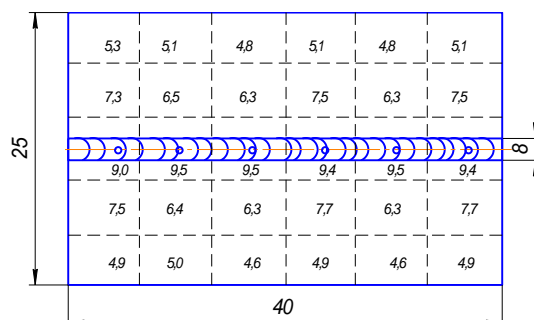


Рисунок 3 – Схема измерений коэрцитивной силы K_c , А/см на образце из стали 20 с результатами контроля

Анализ полученных результатов показывает, что в зоне сварного шва, а также в зоне термического влияния величина коэрцитивной силы в 1,6 и 1,4 раза выше, чем в зоне основного металла, что свидетельствует о наличии высоких сварочных напряжений в данных зонах.

Существуют многочисленные методы снижения остаточных сварочных напряжений: проковка, обжатие, ударно-волновое воздействие, ультразвуковая обработка, локальная термомеханическая обработка, объёмная термообработка и другие. Последние два метода находят применение при производстве сварных труб. Результаты исследований на Челябинском трубопрокатном заводе (ЧТПЗ) свидетельствуют, что проведения термической обработки позволяет почти полностью снимать послесварочные напряжения в сварных швах и околошовной зоне [3].

Так же был осуществлен анализ экспериментальных исследований по оценке влияния термической термообработки на коррозионную стойкость трубопроводной стали, который показал, что режим двукратной нормализации при 920 °С повышает однородность микроструктуры и увеличивает коррозионную стойкость углеродистой стали 20, применяемой в теплоэнергетике для изготовления труб, на 38–51% при варьировании времени испытания от 24 до 168 часов [5]. Результаты экспериментальных исследований испытаний представлены на рисунке 4.

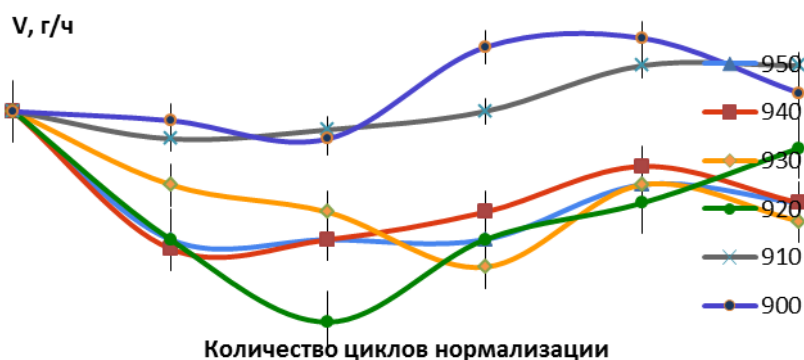


Рисунок 4 – Зависимость скорости коррозии от количества циклов при различных температурах структурной перекристаллизации ($t_1=24$ часа)

Из рисунка 4 видно, что заметное снижение скорости коррозии наблюдается у образцов, подвергнутых нормализации при температуре 920°C и выше. Аналогичные результаты получаются и при увеличении времени коррозионных испытаний. Наименьшая скорость коррозии наблюдается при двукратной нормализации при 920°C. Установлено, что при режиме двукратной нормализации при t_1 снижение этой величины составляет 38 % от исходного значения, при увеличении времени испытания до t_2 скорость коррозии уменьшается на 51 %.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований, проведенные авторами [6] по изучению влияния скорости коррозии на изменение конструктивной прочности труб тепловых сетей и установление кинетических зависимостей влияния этих изменений на уровень напряжений при рабочих и испытательных давлениях. Коррозионные испытания низкоуглеродистой стали проводили на пластинах размером 10x80x1 мм с отверстием диаметром 3 мм. Перед испытаниями проводили нормализацию образцов по следующему режиму: нагрев в вакуумной трубке 910 °С, 20 мин., охлаждение с трубкой на воздухе. Производили сравнительные коррозионные испытания образцов без предварительной деформации и в напряженном состоянии (в области перехода упругих напряжений в пластические) при приложении изгибающей нагрузки близкой напряжению предела текучести. На рисунке 5 показан внешний вид образцов после коррозионных испытаний.

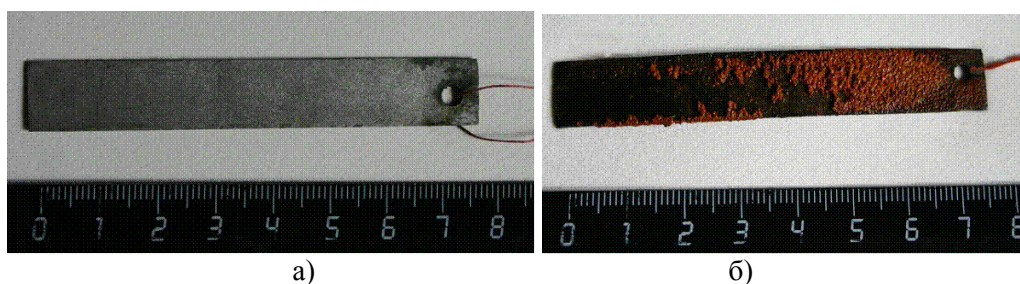


Рисунок 5 – Внешний вид образцов для коррозионных испытаний:
а) без деформации; б) в деформированном состоянии

В результате проведенного эксперимента было установлено, что средняя скорость коррозии образцов без деформации составила 0,0061 мм/год, а коррозия образцов под напряжением составляла 0,0083 мм/год, т.е. скорость коррозии в результате деформации увеличилась на 36 % [6].

Выводы

В результате работы установлено, что проведение термической обработки является наиболее простым и эффективным способом увеличения ресурса трубопроводов.

Литература

1. Арсеньев Г.В. Тепловое оборудование и тепловые сети. Учебник для вузов/ Г.В. Арсеньев, В.П. Белоусов, А.А.Драническо и др. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
2. Журнал «Новости теплоснабжения», № 12, (28), 2002, С. 33–35, www.ntsnn.ru.
3. Пашков Ю.И. Остаточные сварочные напряжения и пути снижения стресс-коррозионных разрушений магистральных газопроводов / Вестник ЮУрГУ 2012. №15 С. 28–30.
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т./ Под общ. Ред. В.В.Клюева.Т.6: В 3 кн.. Кн.1. В.В.Клюев, и др. Магнитные методы контроля – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006.
5. Березина Т.Г. Коррозия металла деталей теплоэнергетического оборудования. – Челябинск: ЧФ ПЭИПК, 2000. – 58 с.
6. Плешивцев В.Г., Пак Ю.А., Глухих М.В., Филиппов Г.А., Чевская О.Н., Ливанова О.В. (ДепТЭХг.Москвы, ЗАО «ЮННА ПАК», ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина). Третья научно-практическая конференция «Тепловые сети. Современные практические решения».

УДК 621.311.22

БЕЛОРУССКАЯ АЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ СТРАНЫ

Ботько Е.Н.

Научный руководитель – д.т.н. профессор Карницкий Н.Б.

На современном этапе жизни планеты развитие экономики и рост благосостояния населения делает все более актуальным вопрос обеспечения возрастающих потребностей различных отраслей электрической и тепловой энергией.

Сегодня страны, которые обладают значительным опытом использования атомной энергетики продолжают ее развивать. Однако самые масштабные программы развития и самый большой вклад в темпы роста мировой атомной энергетики вносят новые государства, которые только начинают создавать атомную отрасль.

В настоящее время Республика Беларусь активно ведет сооружение атомной электростанции, которая позволит несколько ослабить острую нехватку собственных топливно-энергетических ресурсов. Развитие атомной энергетики имеет для республики стратегическое значение в обеспечении энергетической и экономической безопасности.

Планируемое внедрение двух энергоблоков АЭС в Беларуси, которые будут работать в базовом режиме, приведет к тому, что покрытие пиковых и полупиковых нагрузок в энергосистеме будет производиться энергоблоками КЭС, за счет их работы в широком диапазоне изменения нагрузок. Это обстоятельство повышает актуальность проблемы ввода в энергосистему страны новых мощностей для обеспечения «подхвата мощности», в случае отключения АЭС, а также существенного повышения качества регулирования мощности электрических станций, работающих в условиях переменных режимов и нагрузок. Кроме того, в настоящее время в энергосистеме наблюдается износ (достижение предельных наработок времени) основного оборудования большинства существующих электростанций, электрических и тепловых сетей, что приводит к снижению экономичности, надежности и долговечности работы теплоэнергетического оборудования. Поэтому ставится вопрос, связанный с обновлением основных производственных фондов за счет ввода новых мощностей либо модернизации существующих.

Основным направлением модернизации действующих генерирующих источников является внедрение высокоэффективных парогазовых технологий путем газовой надстройки на действующих паросиловых блоках, модернизация существующих турбин, замена устаревших и отработавших свой срок турбоагрегатов на новые, с улучшенными технико-экономическими показателями.

Включение АЭС в энергосистему требует тщательной проработки, поскольку режим работы АЭС в энергосистеме зависит от многих факторов: структура генерирующих мощностей; маневренность характеристик основного оборудования и т.д. Для энергоблоков с реакторами ВВЭР следует учитывать необходимость ежегодной остановки энергоблока на время около 30–40 суток для перегрузки топлива, а также изменение маневренности ядерной паропроизводящей установки в течении топливной компании.

Как правило, сегодня основным режимом работы энергоблока АЭС является работа в базовом режиме на 100 % мощности. Оборудование и системы энергоблока допускают возможность работы в маневренных режимах регулирования мощности.

Планируется, что работа энергоблоков Белорусской АЭС будет осуществляться в базовом режиме с КИУМ не менее 90 %. При этом регулировочный диапазон нагрузок будет лежать в диапазоне 20-100 % $N_{ном}$. В базовом режиме работы будет обеспечиваться поддержание заданного уровня мощности энергоблока с возможностью планового перехода с одного уровня мощности на другой. После включения АЭС в сеть предусматривается использование мощностей для работы в режиме поддержания частоты в энергосистеме.

Для оценки преимуществ от строительства АЭС был выполнен сравнительный анализ некоторых технико-экономических показателей АЭС (два энергоблока суммарной

электрической мощностью 2400 МВт) с аналогичными показателями для КЭС (шесть блоков по 400 МВт каждый).

К важнейшим экономическим показателям относят капиталовложения и эксплуатационные расходы, связанные с отпуском электроэнергии или тепла (себестоимость).

Поскольку для характеристики АЭС и эффективности ее работы используются технико-экономические показатели, аналогичные тем, которые приняты в теплоэнергетике [1], расчет осуществляется по схожей методике.

Таблица 1 – Таблица исходных данных для расчета [2-5]

Наименование показателя	Обозначение	Величина	Значение	
			АЭС	Электростанция на газе
Электрическая мощность	N	МВт	до 2400	2400
Тепловая мощность	Q_p	МВт	6400	170
Удельные капиталовложения	k	доллар США/кВт	2730	1500
Среднее выгорание топлива	B_U	МВт·сут/кг	55.5	-
КПД ЭС	η	%	33.7	55.5
Стоимость условного топлива	Π	доллар США /т.у.т.	60	250
Число часов использования	h	ч/год	7900	7000
Штатный коэффициент	$k^{шт}$	чел./МВт	0.8	0.78
Срок эксплуатации	T	лет	50	30
Собственные нужды	$\Delta \mathcal{E}^{сн}$	%	6	3

Удельные капиталовложения, или удельная стоимость установленного киловатта электрической мощности станции, являются важным экономическим показателем, влияющим не только на эффективность работы, но также на конкурентоспособность АЭС по отношению к другим типам электростанций (в данном случае к КЭС) при планировании развития энергетики в том или ином районе страны. На удельную стоимость установленного киловатта влияет ряд факторов: сложность и цена основного оборудования; район размещения станции; принятая тепловая схема; компоновочные решения; методы строительства, монтажа и т.д. Полные капиталовложения на электростанции K определяются по формуле:

$$K = k \cdot N,$$

где k и N - удельные капиталовложения в сооружение электростанции и ее мощность.

Себестоимость характеризует совокупность затрат в денежном выражении овещественного и живого труда в процессе производства электрической энергии на электростанции [1] и определяется по формуле:

$$C^{ээ} = \frac{И}{N \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\Delta \mathcal{E}^{сн}}{100}\right)},$$

где $\Delta \mathcal{E}^{сн}$ - доля электроэнергии из общей выработки для собственных нужд; $И = И_{п} + И_{пер}$ - суммарные годовые издержки (или затраты) производства электроэнергии на электростанции [4], где $И_{п} = И_{ам} + И_{зп} + И_{пр}$ - затраты на производство электроэнергии, зависящие от количества отпускаемой электроэнергии (постоянная составляющая), $И_{пер} = И_{топл}$ - затраты на производство электроэнергии, не зависящие от количества отпускаемой электроэнергии (переменная составляющая).

Основным из отличий АЭС и КЭС является использование различных видов топлива. Издержки на ядерное топливо составляют основную (более 90%) часть переменных расходов на производство электроэнергии на АЭС.

Для определения топливных издержек $\Pi_{тут}$ используется формула:

$$И_{топл} = B_{год} \cdot \Pi_{тут}$$

где $V_{\text{год}}$ - расход условного топлива в год.

Общий расход ядерного топлива, необходимый для работы реакторов в течение года определяется по формуле:

$$V_{\text{год}} = \frac{0,123 \cdot N \cdot h}{\eta},$$

где $C_{\text{тут}}$ - цена тонны условного топлива.

Показателем экономической эффективности капитальных вложений в энергетике является [3] минимум капитальных затрат. Значение приведенных затрат $Z_{\text{пр}}$ при допущении, что капиталовложения в электростанцию осуществляются в течение одного года, а ежегодные издержки производства остаются постоянными за весь срок службы электростанции, определяется по формуле [1]:

$$Z_{\text{пр}} = K \cdot E_{\text{н}} + И,$$

где $E_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности.

Удельные приведенные затраты $Z_{\text{пр}}^y$ определяем по формуле:

$$Z_{\text{пр}}^y = \frac{Z_{\text{пр}}}{1000 \cdot N \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\Delta \text{Э}^{\text{сн}}}{100}\right)},$$

Для определения степени использования установленной мощности электростанции в году, определяется КИУМ:

$$\text{КИУМ} = \frac{h}{T_{\text{календ}}}.$$

Исходя из полученных результатов сделан вывод о том, что на АЭС себестоимость электроэнергии (1,4 цент/кВт·ч) и расчетные затраты в основном определяются топливной составляющей и составляющими, зависящими от капитальных вложений. Очевидно, что чем меньше стоимость ядерного топлива и установленного киловатта, тем ниже, при прочих равных условиях, себестоимость электроэнергии и удельные расчетные затраты. В настоящее время на АЭС составляющая удельных расчетных затрат, зависящая от начальных капиталовложений ($K=6,388$ млрд. долларов США), заметно превосходит топливную ($И=26,7$ млн. долларов США). Поэтому снижение капиталовложений на сооружение станции является основной задачей атомной энергетики. Для ее решения проводят укрупнение единичных мощностей основных агрегатов. Однако следует иметь в виду, что требования к их надежности при этом существенно возрастают, так как потери от простоя при выключении одного блока резко увеличиваются. Реальным путем снижения стоимости сооружения АЭС является также совершенствование ее компоновки и отказ от некоторых проектных решений, принимавшихся ранее в связи с недостаточным опытом эксплуатации таких электростанций. Уменьшение капиталовложений в строительство АЭС связано также с использованием более дешевых и менее дефицитных конструкционных материалов. Это относится, например, к замене аустенитных нержавеющей сталей на перлитные в контурах реактора и всей станции, а также к отказу от применения аустенитных сталей при сооружении различных водяных емкостей станции вне зоны облучения и с использованием для этой цели различных защитных покрытий [2].

Таким образом, себестоимость электроэнергии, производимой на АЭС, на 15 % превосходит аналогичный показатель для КЭС. При этом капиталовложения в строительство АЭС примерно в два раза выше аналогичного показателя для КЭС. Последнее обусловлено «укрупнением» энергоблоков АЭС т.е. повышением единичной мощности, а также повышенной безопасностью таких сооружений. Кроме того эксплуатация КЭС экономически оправдана только первые 10-15 лет, с увеличением срока эксплуатации выгоднее эксплуатация АЭС (за счет суммарных затрат).

Литература:

1 Воронин Л.М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС / Л.М. Воронин. – М.: Энергоиздат, 1981 – 168 с.

- 2 Зорин, В.М. Атомные электростанции: учебное пособие / В.М. Зорин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672 с.
- 3 Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства (генерирование, передача и распределение электрической и тепловой энергии). М., Энергия, 1973.
- 4 Методика расчета проектной себестоимости тепла и электроэнергии на ТЭС. ОСТ 34-255-75. М., Минэнерго СССР, 1975.
- 5 Нагорнов, В.Н. Методические указания к курсовой работе по курсу: «Экономика энергетики» / В.Н. Нагорнов. Минск, 2004.
- 6 Электронное издание «Реакторная установка АЭС – 2006: Стратегический выбор». Подольск., ОКБ «Гидропресс». 2006.

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Коноплич А. Н.

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель Иокова И. Л.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Алексеева И. В.

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель Иокова И. Л.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Кулинич Р.К.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Янчук В.В.

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

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПОСЛЕ ВВОДА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Карасёва А.В., Кацубо В.В.

Научный руководитель – м.т.н. Бобич А.А.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА

Воробьев В.И., Макаренко Д.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АГРОГОРОДКА

Королев А.В., Шевчук И.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

ПРОГРАММА «ТЕПЛОМАГ»

Малашук А.М., Кулаков В.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

МЕРЫ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС

Позднякова М.И.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭС

Иванова О.А., Скицунова И.А.

Научный руководитель – м.т.н. Бобич А.А.

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ТРУБОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Шевчук И.В., Королев А.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

СИСТЕМА КОМПАС-3D

ЛОГОНЕНКОВ Р.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АСПИРАНТ МАТЯВИН А.А.

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

ОЛЕШКО Ю.С., ЧЕРЕХОВИЧ О.В., ЦАРИК Е.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДОЦЕНТ МИГУЦКИЙ И.Е.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРУБЫ

ОСМАНОВ К.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ЧЕРНЫШЕВИЧ В.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

БОЙКО Е.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР РОМАНИУК В.Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ ОТ БЫТОВЫХ СТОКОВ К ГВС

ВЛАСЮК Д.И.

РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПРОКОПЕНЯ И.Н.

ВИРТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

РЕМЕЗ М.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - Д.Т.Н., ПРОФЕССОР СЕДНИН В.А.

ПЛАВУЧИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

БОЙКО Е.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ИОКОВА И.Л.

РЕТЕ ТЕХНОЛОГИЯ – НОВЫЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

ШВЕД И.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРУБЫ

ОСМАНОВ К.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ЧЕРНЫШЕВИЧ В.И.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ZULU

КАРАСЁВА А.В., КАЦУБО В.В., СКИЦУНОВА И.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АСПИРАНТ МАТЯВИН А.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MAGIC CAD В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

СЕВЕРИН В. Ф., СОКОЛОВСКАЯ К. С., СИДОРЧУК А. А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АСПИРАНТ МАТЯВИН А.А.

РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСЕТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

ЕГОЩЕНКОВ И. Н., ЛЕШКЕВИЧ В. С., ПЕТРАШКЕВИЧ А. С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПЕТРОВСКАЯ Т.А., АСПИРАНТ МАТЯВИН А.А.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «МОДЭН»

Музыкантова К.С., Самончик К.В.
Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

ИСТОРИЯ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННОГО АППАРАТА

Прокопенко К.В., Шевандо А.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕГОНКЕ БИНАРНОЙ СМЕСИ ВЗАИМОРАСТВОРИМЫХ КОМПОНЕНТОВ

Османов К.О., Хатянович П.П.
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

СОЛНЕЧНЫЕ ДОРОГИ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНОГО КОМПРЕССОРА В УСТАНОВКЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ВОДНОГО РАСТВОРА ВЕЩЕСТВА

Османов К.О., Хатянович П.П.
Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

ВЫБОР ВАРИАНТА ТЕПЛОИСТОЧНИКА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ СООО «ПП ПОЛЕСЬЕ»

Ковалёва К. И.
Научный руководитель – м.т.н., ассистент Бобич А.А.

ФАКЕЛЬНОЕ СЖИГАНИЕ ДИСПЕРСНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Ярмольчик Д. Ю.
Научный руководитель - к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ ПЛАСТИНАТЫХ ТЕПЛОБМЕННИКОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА НА НПС

Кузьмин Р.О., Мясникович В. В.
Научный руководитель - к.т.н, профессор Седнин А.В.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

Горбач В.А., Янкович В.С., Панкевич В.И.
Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

БЕСПРОВОДНОЕ ИНДУКЦИОННОЕ СРЕДСТВО ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Богдан А.А., Захарченко В.С, Игнатович Р.С.
Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА РБ

Иванова Д.С, Павлович И.В, Твердунова А. Д.
Научный руководитель – старший руководитель Петровская Т.А.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА КАК ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ

ДЕВЕТЬЯРОВА М.В., ЗУЕВА Е.С., ПЕСТРАК А

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

УДК 658.26

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕГРОСНАБЖЕНИЕ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Коноплич А. Н.

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель Иокова И. Л.

РУП «Минский завод строительных материалов» (далее МЗСМ), включает три основных производства: цех кирпича, цех аглопорита и цех перлита. Для получения кирпича и аглопорита сырьем служит глина из местных карьеров, перлитовая порода завозится из Армении.

Продукцией завода является (рисунок 1):

- Кирпич утолщенный, эффективный, красный;
- Аглопоритовый щебень и песок;
- Перлитовый песок вспученный;
- Плиты ПАК (перлито-асбесто-каолиновые), плиты ТИЗО (теплоизоляционные из отходов – опилок), блоки ЖСБ (жаростойкие блоки).



Рисунок 5 - Диаграмма годового потребления энергоресурсов в %

Цех эффективного красного кирпича с проектной мощностью печей 110 млн. шт. пущен в эксплуатацию в 1980 году. Производство глиняного кирпича представляет собой высоко механизированный, энергонасыщенный технологический процесс, оснащенный современным оборудованием. Здесь сосредоточены наиболее энергоемкие, а значит и интересные с точки зрения энергетического аудита, теплотехнологические установки. Это, прежде всего, туннельные обжиговые печи и туннельные сушила.

Цех по производству аглопорита – это высокомеханизированное производство, включающее шихто-смесительное отделение и две агломерационных печи. Аглопорит – это искусственный пористый наполнитель для легких бетонов. Он получается путем спекания гранул шихты, состоящей из смеси глины, угля и опилок. От правильности работы шихто-смесительного отделения зависит процент получаемого брака, а значит, и перерасход энергии.

Цех по производству вспученного перлита построен в 1970 году. После реконструкции в 1986 году мощность выпуска доведена до 150 тыс. м³/год. Основное энергопотребляющее оборудование цеха – дробилка валковая ДВГ–3М, жироскопический грохот ГЖ–2 и

вертикальные перлитовые печи вспучивания перлита. Перлит применяют при изготовлении легких бетонов, звукоизоляционных плит и других материалов, а также теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от -200 до $+675$ °С. В частности, в цеху из перлитового сырья производят плиты ПАК, ТИЗО и в незначительном количестве жаростойкие блоки ЖСБ.

В технологических процессах завода в целом используется электроэнергия и топливо (природный газ, каменный уголь, опилки). Общая присоединенная мощность трансформаторов, питающих завод, составляет 9630 квар.

Завод строительных материалов привязан к источнику природного газа – газовым сетям ПО газового хозяйства «Мингаз», магистрали ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Потребление воды – городской водопровод ПО «Минскводоканал» управления «Водосбыт». Завод имеет свою котельную, которая состоит из трех водогрейных котлов КВ-1,0Г причем тепло от них, и горячая вода используется только для коммунально-бытовых нужд.

Расход тепловой энергии замеряется диафрагмами установленные на выходе из котельной; расход природного газа – дроссельной шайбой в газо-регулирующем пункте (ГРП) и газовыми счетчиками непосредственно на газо-потребляющем оборудовании. В цехах и в отделе главного энергетика (ОГЭ) ведется посменный и ежедневный учет теплоэнергетических ресурсов.

Итак, наиболее интересными в плане анализа энергопотребления является технология производства красного кирпича и аглопорита. Заострим внимание на аудите цеха производства аглопорита, так как этот продукт является перспективным для строительных материалов. Производство аглопорита предназначено для утилизации отходов, получаемых от других производств, что в данный момент имеет очень большое значение для выброса производственных отходов в окружающую среду (ОС).

Аглопорит относится к искусственным пористым заполнителям. Он представляет собой сыпучий пористый материал в виде щебня или гравиеподобной (округлой) формы. Продукт контактного спекания на решетках агломерационных машин получаемый из глинистого сырья и глинистых углесодержащих пород (являющихся отходами от добычи и обогащения углей) или топливных шлаков от кускового сжигания и золы от пылевидного сжигания углей.

Метод производства аглопорита заключается в том, что через слой зажженной шихты просасываются газы сверху вниз. В слое шихты при этом последовательно происходит быстрое испарение влаги (сушка) и подогрев шихты, сгорание топлива с повышением температуры шихты до $1200-1600$ °С, спекание и поризация исходного сырья и охлаждение спекшегося продукта. Горящие газы из поверхностного слоя просасываются через нижележащие слои, подсушивая и подогревая их. Двигаясь дальше и встречая на своем пути холодные слои шихты, газы охлаждаются, что в начальной стадии процесса приводит к конденсации влаги в нижних слоях. В дальнейшем эти слои прогреваются отходящими газами до 100 °С и более. Начавшийся в шихте процесс горения топлива переходит от одного слоя к другому, заканчиваясь у колосников агломерационной машины. При этом в спекаемом слое различают четыре технологические зоны: охлаждение, горение топлива (сжигание горючих веществ), подогрева шихты и испарение влаги. В конечной стадии процесса, когда зона горения приближается к колосникам, постепенно исчезает зона испарения влаги и сокращается зона подогрева. У нижнего слоя остаются лишь две зоны – охлаждения и горения топлива.

Получение пористого продукта при спекании различного сырья на агломерационных машинах связано с выгоранием топлива и органических веществ, испарением влаги, контактным спеканием отдельных зерен и вспучивание за счет давления газов. Пористому строению в аглопорите способствует температурный режим процесса спекания. Быстрый подъем температуры в спекаемом слое – в течение 3–4 мин. нагревается до $1400-1500$ °С. А также, кратковременность пребывания спекаемого материала в зоне максимальных температур – 1–3 мин.

Особенности процесса спекания позволяют получить пористый продукт на агломерационной решетке под воздействием следующих физико-химических превращений (независимо от характера газовой среды):

1. Удаление адсорбционной воды из глинистых пород, дегидратируются гидроокислы железа и кристаллизуется гематит (90 – 500 °С).

2. Дегидратируются глинообразующие материалы (500 – 1000 °С). При нагреве в окислительной среде выгорают летучие составляющие угля, сернистые соединения железа (пирит, марказит) переходят в гематит, а двухвалентное железо в шлаковом стекле окисляется.

3. Заканчивается глинообразующих материалов с их аморфизацией (950 – 1000 °С).

4. Оплавляются и частично муллитизируются полевые шпаты, в процессе твердофазных реакций СаО связывается в силикаты и алюмосиликаты кальция (1200 – 1350 °С). В окислительной среде интенсивно выгорают органические вещества. В восстановительной среде происходит выделение СО и начинает появляться жидкая фаза вследствие взаимодействия аморфизованного глинистого вещества и остеклованных частиц с плавнями – закись железа, СаО и щелочами.

5. Интенсифицируются муллитизация полевых шпатов, плавится основная масса аморфизованного глинистого вещества и остеклованных частиц исходного сырья (при применении шлаков и золы). В окислительной среде завершается выгорание органических веществ, при окислении расплава выделяется магнетит или гематит, а муллит слабо кристаллизуется из расплава из-за снижения его вязкости при окислении.

6. Период охлаждения (1500–20 °С). В окислительной среде завершается кристаллизация железосодержащих фаз (гематита, магнетита), а в преобладающей массе бурого стекла кристаллизуется плагиоклаз и α-кristобалит. В восстановительной среде образуется прозрачное бесцветное или слабо окрашенное стекло, включающее выделявшиеся ранее игольчатые кристаллики муллита.

Минералого-петрографические исследования прозрачных и полированных шлифов и рентгеноструктурный анализ наиболее характерных образцов аглопорита подтвердил, что основным структурным элементом аглопорита является стекло различного состава, а второстепенными элементами кристаллические образования, содержащиеся в примесях исходного сырья или получаемый при охлаждении расплава. Аглопорит, изготавливается из глинистых легкоплавких пород (суглинка), состоит в основном из высоко кремнеземистого стекла и сильно оплавленных зерен кварца, реже полевого шпата. Наличие большого количества стекла, насыщенного зернами кварца, в аглопорите из суглинков и супесей может быть объяснено высоким содержанием в них кремнезема и плавней (10–12 %). Наилучшим является аглопорит, содержащий от 35 % до 50 % стекловидной фазы и 50–65 % аморфизованного глинистого вещества, кварца и кристаллических новообразований. При меньшем количестве стекла, уменьшается прочность аглопорита, при большем – увеличивается его объемный вес. Присутствие пылеватых и песчаных фракций в глинистых породах является полезным, так как эти фракции не переходят (в основном) в расплав, а образуют жесткую структуру (каркас). В сырье для производства аглопорита должно содержаться более 50 % песчаных и пылеватых частиц.

Литература

1. Никифорова, Н. М. Основы проектирования тепловых установок при производстве строительных материалов / Никифорова Н. М. – М.: Высшая школа, 1974. – 144 с.

2. Петров, Л. К. Аглопорит и аглопоритобетон / Л. К. Петров, Н. П. Корневич. – Минск: Наука и техника, 1995. – 390 с.

УДК 621.577

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Алексеева И. В.

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель Иокова И. Л.

Тепловой насос – это современный и высокотехнологичный прибор для отопления и кондиционирования воздуха.

История создания теплового насоса начинается с 19 века. Принцип теплового насоса вытекает из работ Карно (1824 г.). В 1852 г. Томсон предложил практическую теплонасосную систему, которую назвал «умножителем тепла», использующую воздух в качестве рабочего тела.

В 20-м веке, в 1930 г. Холдэйн описал испытание домашнего теплового насоса, предназначенного для отопления и горячего водоснабжения, использующего тепло окружающего воздуха. Первая крупная теплонаносная установка в Европе была введена в действие в 1938-1939 гг. В ней использовались тепло речной воды, ротационный компрессор и хладагент. Она обеспечивала отопление ратуши водой с температурой 60 °С при мощности 175 кВт. В летние месяцы установка работала на охлаждение.

В 1993 г. общее количество работающих теплонасосных установок (ТНУ) в развитых странах превысило 12 млн., а ежегодный выпуск составил более 1 млн.

По прогнозу Мирового энергетического комитета к 2020 г. в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения с помощью тепловых насосов составит 75%.

Каков же принцип действия теплового насоса? Внутренний контур тепловых насосов состоит из следующих компонентов:

- конденсатор;
- капилляр;
- испаритель;
- компрессор, работающий от электрической сети;
- терморегулятор, который управляет устройством;
- хладагент – циркулирующий в системе теплоноситель с определёнными

физическими свойствами и характеристиками.

Тепловые насосы для отопления, забирают тепло из почвы, грунта, грунтовых вод и самого воздуха.

Суть работы заключается в следующем: по внешнему контуру системы отопления движется незамерзающая жидкость, которая нагревается от окружающей среды. В насосе эта жидкость отдаёт порядка 5° хладагенту и продолжает циркулировать. Хладагент закипает (при температуре порядка –10 °С), переходя в газообразное состояние. Компрессор сжимает пар, что приводит к повышению его температуры. Попадая в теплообменник, этот пар отдаёт тепло внутреннему контуру отопления, а сам остывает, конденсируется и возвращается в испаритель. При грамотном подходе экономия на энергетических ресурсах может достигать 70 %.

Данное оборудование бывает нескольких типов, от чего и зависят их технические характеристики.

Грунт-вода – это устройство извлекает тепло из грунта при помощи коллекторов или зондов. Грунт аккумулирует солнечную энергию и может отдавать свое тепло вне зависимости от погоды, а на глубине ниже 10 м температура практически постоянна в течение всего года по всей стране.

Вода-вода – источником тепла в этом случае являются подземные грунтовые воды, а также может быть использован водоем, расположенный поблизости, кроме этого можно использовать сбросовую и технологическую воду промышленных предприятий.

Воздух-вода – источником тепла выступает воздух, в том числе теплый сбросовый. Этот тип оборудования может работать и на охлаждение. Кроме этого, его можно подключать к уже имеющейся системе отопления.

Воздух-воздух – внешний контур наполняется воздухом из окружающей среды, система отопления – также воздушная. Работает по принципу кондиционера, но способен работать при более низкой уличной температуре.

Классификацию современных теплонасосных установок следует осуществлять, прежде всего, по циклам их работы:

- воздушно-компрессорные тепловые насосы (ТН);
- пароконденсационные ТН;
- абсорбционные ТН;
- ТН, основанные на использовании эффекта Ранка;
- ТН, работающие по циклам Ренкина, Брайтона и Стирлинга;
- термоэлектрические ТН;
- обращенный топливный элемент.

К достоинствам тепловых насосов можно отнести следующее:

- Использование современных энергосберегающих технологий, обеспечивающих экономическую эффективность работы.

При затратах на функционирование системы в 1 кВт электроэнергии вырабатывается от 3-х до 4-х кВт тепловой энергии. Между собой агрегаты сравниваются по коэффициенту преобразования тепла (КПТ) – отношению полученного тепла к израсходованной энергии.

- Экологичность.

Аппарат при работе не сжигает топливо, а значит, не выбрасывает вредные вещества в окружающую среду. Ни в воздухе, ни в почве не накапливаются опасные для здоровья людей и природы соединения.

- Возможность повсеместного использования.

Если не вода, то земля и воздух есть повсюду, что позволяет использовать тепловые насосы в разных уголках Земли.

- Многофункциональность.

Тепловые насосы, оснащенные реверсивным клапаном, способны не только обогреть дом и обеспечить его горячее водоснабжение, но и охладить воздух в летний период.

- Безопасность.

При работе агрегата нет открытого огня, и не выделяются опасные смеси и газы. Узлы системы не прогреваются выше 90 °С.

Недостатки тепловых насосов:

- Стоимость.

Является главным недостатком тепловых насосов.

- Низкие температуры.

КПТ выше тогда, когда разница температур теплоносителя в системе и отопительном контуре минимальна.

- Тепловые насосы обладают широкой областью практического применения;
- Отопление частных домов, дач, коттеджей, таунхаусов, загородных домов;
- Отопление заводов, складов, офисных зданий;
- Подогрев бассейнов и аквапарков;
- Отопления АЗС;
- Отопление теплиц и фермерских хозяйств.

За рубежом теплонасосная техника находит широкое применение для целей теплоснабжения жилых и офисных зданий уже более 30 лет. Толчком для ее массового применения стал энергетический кризис 1970-х годов. В 2009 г. в мире количество тепловых

насосов, использующих тепло грунта, превысило 2,8 млн. шт., их суммарная установленная тепловая мощность составила 35 ГВт, а ежегодное производство тепловой энергии – 214 тыс. ТДж. Лидерами по установке ТНУ данного типа являются США и Швеция.

Опыт использования тепловых насосов в странах СНГ пока невелик, однако условия для их внедрения есть.

Так применение тепловых насосов в нашей стране давно стало актуальным и значимым. Не так давно очень активно обсуждались вопросы использования тепловых насосов в строительстве жилищно-коммунальных объектов, а также их применения для повышения эффективности существующих котельных.

Наиболее перспективным в нашей стране признан абсорбционный цикл.

Абсорбционный тепловой насос работает следующим образом: в трубное пространство испарителя подаётся низкотемпературная вода, где она охлаждается за счёт испарения воды в вакууме, стекающей в виде плёнки по межтрубному пространству. Образовавшийся при этом пар поглощается водным раствором бромистого лития, стекающим по межтрубному пространству абсорбера. При этом раствор нагревается, и для сохранения его поглощающей способности теплота отводится водой, протекающей внутри труб абсорбера. Таким образом, происходит перенос теплоты с низкотемпературного уровня в испарителе на более высокий в абсорбере. Поглощая водяной пар, раствор бромистого лития становится слабым – концентрация его снижается. Для регенерации он подаётся в генератор, где концентрируется за счёт теплоты греющего источника – сжигаемого газообразного или жидкого топлива (пара). Крепкий раствор подаётся в абсорбер. Полученный в генераторе водяной пар направляется в межтрубное пространство конденсатора, конденсируется и поступает в испаритель. Вода подаётся последовательно в абсорбер и конденсатор, где нагревается до необходимой температуры и отдаётся потребителю. Все процессы в машине протекают под вакуумом.

Абсорбционные тепловые насосы могут использоваться для получения горячей воды на нужды отопления и горячего водоснабжения, для нагрева и охлаждения технологических сред в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве. Основным условием эффективного применения тепловых насосов является наличие низкопотенциального источника теплоты с температурой не менее 15 – 20 °С.

Особенно стоит рассмотреть эффективность использования абсорбционного теплового насоса в составе ТЭЦ, на которых часто возникает необходимость увеличения мощности теплофикационного отбора станции. Эту проблему сейчас решают установкой дополнительных пиковых котлов. Но теплофикационную мощность станции можно существенно увеличить с помощью абсорбционного теплового насоса без увеличения расхода топлива.

При замещении традиционного теплоисточника двухступенчатым абсорбционным тепловым насосом экономия топлива составит 54%. При этом сокращаются выбросы парникового газа и других вредных продуктов сжигания органического топлива.

Можно сделать вывод, что абсорбционные тепловые насосы могут успешно заменить либо дополнить существующие котельные и тепловые пункты. Абсорбционные тепловые насосы обладают длительным сроком службы, высокой ремонтпригодностью, кроме того они малошумные в работе.

Литература

1. Васильев, Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли (Монография). / Г. П. Васильев. – М.: «Красная звезда», 2006. – 220 с.
2. Хрусталёв, Б. М. Техническая термодинамика: в 2 ч. / Б. М. Хрусталёв, А. П. Несенчук, В. Н. Романюк и др. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – Ч.2. – 487с.

УДК 621.577

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Кулинич Р.К.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Ярмольчик Ю.П.

Меры по снижению уровня выбросов загрязняющих веществ применяются с целью удаления их из отходящих газов, среди которых особое значение имеет удаление твердых частиц, NO_x , SO_2 . Применяемые при этом методы различны как по степени снижения выбросов, так и по стоимости. Однако, применение таких мер необходимо для соблюдения нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технических нормативов и должно быть направлено на максимально возможное предотвращение загрязнения окружающей среды.

Выбросы отработавших газов измеряют в следующих размерностях:

- PPM (parts per million) - это единица концентрации в миллионных долях).
- Мг/м³-содержание NO_x или SO_2 в 1 м³ уходящих газах.
- Мг/кВтч- выбросы NO_x или SO_2 при выработке 1 кВтч энергии.
- Ниже представлена таблица переводных коэффициентов для вышеперечисленных размерностей:

Таблица 1 - Переводные коэффициенты для определения размерностей

Топливо	Единицы	NO _x			CO		
		ppm	мг/м ³	мг/кВтч	ppm	мг/м ³	мг/кВтч
Жидкое топливо EL (дизтопливо)	1 ppm	1	2,056	2,109	1	1,250	1,283
	1 мг/м ³	0,486	1	1,026	0,800	1	1,026
	1 мг/кВтч	0,474	0,975	1	0,780	0,975	1
Жидкое топливо SA (мазут)	1 ppm	1	2,056	2,142	1	1,250	1,303
	1 мг/м ³	0,486	1	1,042	0,800	1	1,042
	1 мг/кВтч	0,467	0,960	1	0,768	0,960	1
Природный газ E	1 ppm	1	2,056	2,058	1	1,250	1,251
	1 мг/м ³	0,486	1	1,001	0,800	1	1,001
	1 мг/кВтч	0,486	0,999	1	0,799	0,999	1
Природный газ LL	1 ppm	1	2,056	2,093	1	1,250	1,273
	1 мг/м ³	0,486	1	1,018	0,800	1	1,018
	1 мг/кВтч	0,478	0,982	1	0,786	0,982	1
Пропан	1 ppm	1	2,056	2,062	1	1,250	1,254
	1 мг/м ³	0,486	1	1,003	0,800	1	1,003
	1 мг/кВтч	0,485	0,997	1	0,798	0,997	1
Бутан	1 ppm	1	2,056	2,068	1	1,250	1,258
	1 мг/м ³	0,486	1	1,006	0,800	1	1,006
	1 мг/кВтч	0,483	0,994	1	0,795	0,994	1

Литература

1. Перерасчёт различных единиц измерений выбросов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.teploventa.ru/index.php/article/archive/1029>. – Дата доступа: 01.05.2016.

УДК 621.311.22.621.182.12

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Янчук В.В.

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

Республика Беларусь обладает достаточными ресурсами возобновляемых поверхностных и подземных вод для удовлетворения потребностей в воде. Особенностью водных ресурсов нашей страны является их принадлежность к бассейнам Черного и Балтийского морей. По обеспеченности водными ресурсами на одного жителя Беларусь находится в сравнительно благоприятных условиях: несколько лучших, чем европейские страны, и значительно лучших по сравнению с отдельными соседними государствами. Водообеспеченность общими водными ресурсами в средний по водности год в Беларуси составляет 5,8 тыс. м³ на одного жителя, в Европе в целом - 4,6, Польше и Украине - 1,7, в то же время в России - 30 тыс. м³.

Одним из наиболее распространенных загрязнений, присутствующих в природной воде, причем в больших количествах, особенно в воде подземных источников, является железо и, часто марганец. Наличие железа в воде, в отличие от большинства других загрязнений, легко определяется даже на бытовом уровне по окраске воды, появлению взвеси и осадка после отстаивания, образованию трудно удаляемых подтеков на сантехническом оборудовании, окрашиванию белья при стирке.

Поскольку железо и марганец относятся к токсичным тяжелым металлам, то, согласно принятым санитарным нормам, их содержание в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л для железа и 0,1 мг/л для марганца. Требования многих производств (пищевых, энергетика, электроника) значительно жестче. Поэтому удаление железа и марганца из природной воды (обезжелезивания и деманганации) являются важной и наиболее распространенной операцией водоподготовки.

Железо находится в природной воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии в виде различных химических соединений:

- Двухвалентное – растворенное в виде ионов Fe^{2+} ;
- Трехвалентное. Хотя хлориды и сульфаты Fe^{3+} хорошо растворимы в воде, ионы Fe^{3+} полностью гидролизуются в нерастворимый гидроксид $Fe(OH)_3$, который находится в виде взвеси или осадка;
- Органическое железо – находится в виде различных растворимых комплексов с природными органическими кислотами (гуматами), имея, как правило, коллоидную структуру;
- Бактериальное железо – продукт жизнедеятельности железобактерий; железо находится в их оболочке.

В подземных (артезианских) водах, забираемых с большой глубины, присутствуют, в основном, ионы двухвалентного железа Fe^{2+} , обычно в виде растворенного бикарбоната – $Fe(HCO_3)_2$. В таких глубинных скважинных водах с низким содержанием растворенного кислорода может наблюдаться концентрация железа до нескольких десятков миллиграмм в 1 литре. При этом вода остается совершенно прозрачной. При подъеме на поверхность после контакта такой воды с воздухом она приобретает неприятные запах и вкус, а при хранении на воздухе из нее выделяется красно-бурый осадок.

В поверхностных водах вследствие наличия избытка кислорода железо находится в окисленном, трехвалентном состоянии Fe^{3+} . Как правило, железо в поверхностных водах встречается в коллоидном состоянии в составе органических комплексов с солями гуминовых кислот, а также входящее в состав железобактерий, которое образуется в процессе их жизнедеятельности.

Подход к очистке вод от железа определяется формой его существования в данной воде, концентрацией, производительностью и требованиями производства. Очистка включает целый ряд физико-химических процессов и сводится, прежде всего, к переводу соединений железа в нерастворимые или слабо растворимые формы с последующим извлечением их из воды.

Существуют 3 метода удаления железа (деферизация) и марганца (деманганация) воды:

- Физический – макро-, микро-, ультра- и нанофильтрация, и обратный осмос;
- Химический – окисление различными окисляющими агентами, в том числе в присутствии катализатора;
- Биологический – окисление двухвалентного железа с включением в состав бактерий.

Наномембраны и мембраны обратного осмоса позволяют удалять все виды железа, но все современные композитные мембраны очень чувствительны к содержанию железа в воде. Это объясняется тем, что в процессе фильтрации при окислении двухвалентного железа в толще мембраны образуется практически неудаляемое трехвалентное железо, что приводит к потере производительности и селективности, т.е. отравлению мембраны.

Ультрафильтрационные мембраны позволяют извлечь коллоидное и бактериальное железо, также способны удалять двухвалентное железо. Однако это уже физико-химический процесс, сочетающий каталитическое окисление двухвалентного железа в трехвалентное в слое гидроокиси на поверхности мембраны с ультрафильтрацией. Регенерация таких мембран производится обратной промывкой и химической мойкой растворами кислот и щелочей.

Химический метод, позволяющий извлечь двухвалентное железо и марганец – это ионный обмен на неорганических и органических ионитах. Данный метод относится к наиболее перспективным, т.к. при его использовании одновременно происходит умягчение воды, т.е. из нее сорбируются катионы кальция и магния, и удаляются двухвалентное железо и марганец. При регенерации солью такие фильтры десорбируются. Такая технология применима, когда в качестве катионита используются неорганические материалы. Существуют материалы, которые наряду с железом, марганцем и солями жесткости удаляют из воды аммоний и небольшие количества сероводорода, а также уменьшают ее коррозионную активность, повышая величину водородного показателя рН.

В современных органических катионитах осуществляется окисление двухвалентного железа в нерастворимые трудноудаляемые трехвалентные соединения внутри органической матрицы. При этом катионит «отравляется», т.е. его обменная емкость существенно падает. Различные промывки катионита практически безрезультатны. По этой причине в настоящее время метод разрешен для применения при концентрации железа в воде менее 2 мг/кг.

Наиболее распространенный способ извлечения растворенных двухвалентного железа и марганца сочетает в себе физические и химические методы и заключается в их окислении и переводе в нерастворимую форму гидроокисей с последующей фильтрацией. Свою популярность метод обрел благодаря дешевизне и простоте установки. В зависимости от концентрации Fe^{2+} для окисления используют кислород воздуха, хлор, озон, перманганат калия. Частицы, окисленных железа и марганца в виде гидроокисей отфильтровываются на гранулированной загрузке. Эта операция обычно сопряжена с механической фильтрацией воды и может производиться на традиционных песчаной, антрацитовой или гравийной загрузке.

Существует несколько способов окисления железа и марганца:

- Кислородом воздуха;
- Расходуемым регенерируемым твердым окислителем;

– Растворенным в воде окислителем на катализаторе.

Окисление железа и марганца растворенным в воде кислородом воздуха протекает с малой скоростью, поскольку процессы окисления и формирования хлопьев достаточно длительные. При окислении и переходе железа в нерастворимую гидроокись образуются свободные ионы водорода, т.е. раствор подкисляется. В кислой среде растворимость гидроксида увеличивается, и процесс замедляется или останавливается. При больших концентрациях железа необходимо корректировать рН либо использовать специальные загрузки, подщелачивающие воду.

Фильтрация воды, содержащей взвесь гидроокиси железа, может производиться на любой гранулированной загрузке, имеющей необходимые гидравлические характеристики. Было замечено, что такие материалы начинают эффективнее и быстрее работать только после наращивания на их частицах слоев гидроокиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, работающей как катализатор дальнейшего окисления.

Однако существенным недостатком данного метода при применении сильных окислителей является коррозионная активность воды из-за избыточного содержания в ней растворенных кислорода и углекислого газа, что требует проведения тщательной ее дегазации перед дальнейшим технологическим использованием.

В настоящее время наиболее перспективны принципиально новые продукты – каталитические фильтрующие материалы, представляющие собой относительно легкую матрицу, которая покрыта пленкой оксидов марганца или железа, либо указанные оксиды введены в ее структуру. Материал не требует применения дополнительных химических реагентов, мало подвержен физическому истиранию и остается эффективным в широком диапазоне температур исходной воды. Такие установки достаточно компактны, дают высокую производительность и достаточное полное окисление железа. Но процесс возможен в интервале рН от 6,8 до 8,5. Также в исходной воде должны отсутствовать сероводород и нефтепродукты, ограничено содержание органики.

Одним из современных направлений обезжелезивания воды является биологический способ, который основывается на использовании микроорганизмов (железобактерий). Эти бактерии переводят двухвалентное железо в трехвалентное. Обильное развитие железобактерий отмечается в воде с содержанием железа от 10 до 30 мг/л, однако, их развитие возможно даже при концентрации железа в сто раз меньше. Главные условия – это поддержание кислотности среды на достаточно низком уровне при одновременном доступе кислорода из воздуха.

В некоторых случаях это оказывается единственным приемлемым способом снизить содержание железа в воде. Прежде всего, когда концентрации железа особенно велики, свыше 40 мг/л. Также применяют биологическое обезжелезивание, если в воде высоко содержание сероводорода и углекислоты. Ее подвергают фильтрации через колонии бактерий на медленных фильтрах с песчано-гравийной загрузкой. Затем подвергают сорбционной очистке для задержания продуктов жизнедеятельности бактерий. Сами по себе эти бактерии не представляют опасности для организма человека, однако продукты их жизнедеятельности токсичны. Поэтому заключительным этапом биологического обезжелезивания является сорбционная очистка для задержания продуктов жизнедеятельности железобактерий и окончательное ультрафиолетовое обеззараживание воды.

У биоочистки есть существенный недостаток – низкая скорость процесса и большая его зависимость от температуры. Это означает, что габариты очистных сооружений требуются существенно большие, чем у конкурирующих методов. Однако тенденция к использованию природных материалов и главное достоинство – экологичность данного метода – ускорят его дальнейшее более массовое применение.

Литература

1. Громогласов А.А. Водоподготовка: Процессы и аппараты / А.А. Громогласов, А.С. Копылов, А.П. Пильщиков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
2. Николадзе Г.И. Водоснабжение / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
3. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е. Рябчиков. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
4. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: МГУ, 2003. – 680 с.

УДК 621.039.009.2

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПОСЛЕ ВВОДА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Карасёва А.В., Кацубо В.В.

Научный руководитель – м.т.н. Бобич А.А.

В связи с тем, что к 2018 году в республике планируется построить атомную электростанцию с первым энергоблоком мощностью порядка 1200 МВт, актуальным становится вопрос интеграции АЭС в Объединенную энергосистему (ОЭС) Беларуси.

Для того чтобы интегрировать АЭС в ОЭС Беларуси, в настоящее время рассматривается комплекс мер, реализация которых позволит обеспечить баланс электрических мощностей в ночные часы отопительного периода: строительство электродотлов.

Когенерация — это комбинированное производство тепла и электроэнергии.

Когенерация — это существенное снижение затрат на получение тепловой энергии.

Когенерационная установка состоит из силового агрегата, например, газовой турбины, электрического генератора, теплообменника и системы управления. В газотурбинных установках основное количество тепловой энергии отбирается из системы выхлопа. В газопоршневых электростанциях отбор тепловой энергии происходит от масляного радиатора, а также и от системы охлаждения двигателя. Отбор тепловой энергии в газотурбинных установках (ГТУ) осуществим технически проще, так как выхлопные газы имеют более высокую температуру.

Энергосистемы заинтересованы в подключении мощных когенерационных установок к своим сетям, так как при этом они приобретают дополнительную генерирующую мощность без капитальных вложений на строительство электростанции. В таком случае энергосистема закупает дешевую электроэнергию для её последующей перепродажи по более выгодному тарифу.

Между тем ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС потребует резкого изменения режимов работы других генерирующих источников белорусской энергосистемы, что, в свою очередь, вызовет ряд сопутствующих проблем.

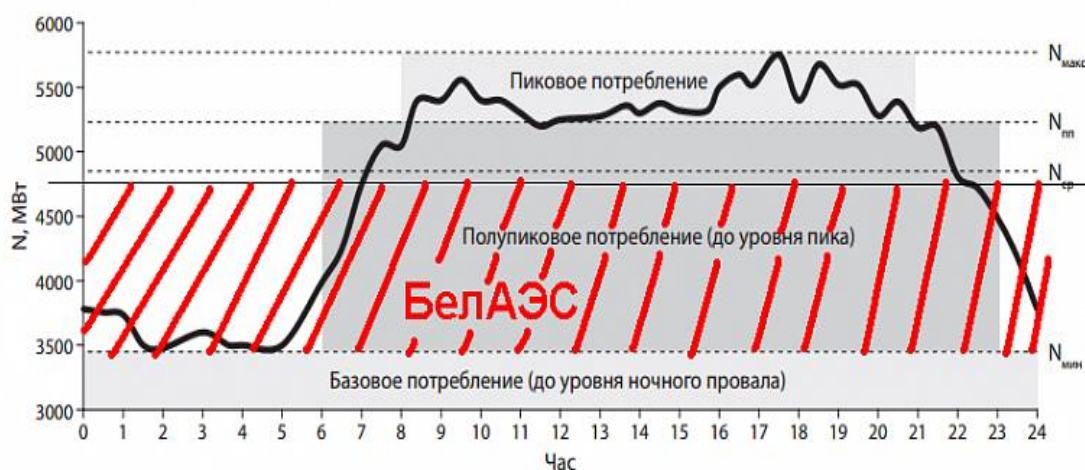


Рисунок 1 - Суточный график нагрузок белорусской энергосистемы при включении АЭС

Найти применение вырабатываемой БелАЭС электроэнергии проблематично. Строительство новых производств, способных потребить ее, связано со значительными финансовыми затратами.

После ввода АЭС в эксплуатацию могут быть остановлены и законсервированы некоторые ТЭЦ, работающие по принципу когенерации, то есть вырабатывающие

одновременно электричество и тепло. А это нецелесообразно, поскольку тепло, вырабатываемое на ТЭЦ, необходимо в отопительный период для системы центрального отопления.

Правительство утвердило документ постановлением № 169. Мероприятия плана нацелены на реализацию Концепции энергетической безопасности Беларуси. Одними из главных его результатов станут «ввод Белорусской АЭС, и ее эффективная интеграция в энергетическую систему».

Поставлена цель — увеличить экспорт электроэнергии. Минэнерго должно определить «маркетинговые преимущества в сегменте оптовой торговли этим ресурсом».

И все же после вода в эксплуатацию АЭС Беларуси, судя по всему, придется активнее заняться «электрификацией». Специалисты прогнозируют, что до 2020 года, скорее всего, на действующих отопительных котельных и ТЭЦ необходимо будет установить электродкотлы, а также построить новые электродкотельные для отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных зданий.

По оценкам, цена вопроса дальнейшей «электрификации» в системе «Белэнерго» — около 113 млн. долларов, в том числе 75 млн. долларов потребуется для энергетической модернизации котельных и мини-ТЭЦ и 38 млн. долларов — для ТЭЦ.

В Беларуси выполнялись работы по изучению использования ТЭЦ в маневренном режиме, когда предусматривалась разгрузка отборов турбин с передачей отпуска тепла из отборов на энергетические котлы. Необходимо изучение вопроса о более глубокой разгрузке парогазовых блоков.

Увеличить коэффициент неравномерности с 0,64 до 0,8, для чего потребуется увеличить электрическую нагрузку в ночное время на 1200 МВт. Это может быть осуществлено на основе стимулирования потребителей к выравниванию режима электропотребления путем перемещения части электропотребления с пика нагрузки на ночное время.

Строительство электродкотельных, которые берут на себя в ночное время теплофикационную мощность энергосистемы и выдают тепло в остальное время суток, сокращая производство электроэнергии в энергосистеме по теплофикационному режиму. Данные котельные в виде так называемых электроаккумуляционных котельных могут размещаться непосредственно у потребителей энергии или вблизи них.

Таким образом, ввод в структуру генерации ОЭС Беларуси атомной электростанции является значительным событием, которое должно сопровождаться адекватными изменениями в структуре действующей генерации в части режимных и экономических аспектов.

Литература

1. Богданович М. Выбор установленной мощности объединенной энергосистемы Беларуси // Энергетика и ТЭК. - 2012. - № 3.
2. Дмитриев Г. М., Судиловская В. В., Судиловский В. К. О развитии энергетики отраслей в народном хозяйстве Беларуси // Энергоэффективность. - 2012. - № 6, 7.
3. Кушнеров В. В. Оптимизация режимов работы энергетического оборудования Белорусской энергосистемы. Материалы семинара по энергоэффективности. - Минск, 2010.
4. Молочко Ф., Молочко А. Способы регулирования нагрузки Белорусской энергосистемы после ввода АЭС // Энергетика и ТЭК. - 2011. - № 6.
5. Сыропушинский В. М., Трутаев В. И. Белорусская АЭС и традиционная энергетика // Энергия и менеджмент. - 2009. - № 8.

УДК 621.577

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА

Воробьев В.И., Макаренко Д.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

Стекольная промышленность по технологическим параметрам получения готового продукта либо полуфабриката относится к одной из самых энергоемких, что свойственно для нее как ветви строительной индустрии. Перед государством стоит снижения энергоемкости не только строительной, но и остальных отраслей промышленности, в целях повышения конкурентоспособности конечного продукта на мировых рынках.

В этой работе мы рассматривали способы наиболее эффективного использования энергии как внутри технологического процесса, так и вне его. Процессы, происходящие в самой стекловаренной печи принимались неизменными. Другими словами, работа была проведена не для строящихся производств, а уже эксплуатируемых, с устоявшимися технологическими параметрами (удельный расход тепла на производство единицы стекла, температуры отходящий дымовых газов, стекломассы, подогрева воздуха). Стоит отметить, что такой параметр, как температура дымовых газов, в реальном процессе эксплуатации стекловаренной печи является величиной постоянно изменяющимся во времени. Так, для новой печи, температура дымовых газов на выходе будет относительно ниже по причине нулевого износа кладки печи, для печи с истекающим сроком эксплуатации – температура станет выше начальной. Для расчета была принята средняя температура за срок эксплуатации. Стекловаренная печь – регенеративная, без электрического подогрева, без барботирования стекломассы.

В таблице 1 представлены начальные данные по расчету.

Таблица 1 – Исходные данные расчета

Параметр	Значение	Размерность
Стеклосъем	720	т/сут
Температура отходящих газов стекловаренной печи	1450	°С
Температура стекломассы	1350	°С
Температура подогрева воздуха	450	°С
Удельный расход тепловой энергии на варку 1 кг стекломассы	2930	кДж/кг
Тепловая нагрузка	5	МВт
Электрическая нагрузка	3	МВт

Мы разработали несколько схем (с органическим циклом Ренкина, паровой мини-ТЭЦ и тепловыми насосами) и сравнили их с изначальной системой печь-регенератор. Полученные данные по исходной схеме, а также по предложенным схемам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ систем

Схема	КПД энергетический	Удельный расход тепловой энергии, кДж/кг	Покрытие тепловой нагрузки	Покрытие электрической нагрузки
Начальная (печь-регенератор)	21%	13858	0%	0%
Схема с ОРЦ без подогрева шихты	25%	13054,2	0%	68%
То же, с подогревом	23%	13858	0%	76%
Мини-ТЭЦ в теплофикационном режиме с подогревом шихты	25%	13054,2	100%	57%
Мини-ТЭЦ с тепловым насосом и с подогревом шихты	26%	13054,2	100%	52%

Литература

1. Гурина В.Н., Ревва И.Б. Расчеты печей силикатной промышленности. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011 – 188 с.
2. Попырин П.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / П.С. Попырин – М.: Энергия, 1978 – 342 с.

УДК 621.577

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АГРОГОРОДКА

Королев А.В., Шевчук И.В

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

Защита климата и ресурсов являются проблемами мирового масштаба, требующими усилий по их решению на глобальном уровне.

За последние годы существенно изменились пути и технологии использования возобновляемого сырья. Глубокие исследования и разработки позволили достичь эффективного и разумного использования возобновляемых ресурсов. Доступными стали передовые технологии энергетического и промышленного использования сырья.

Биогаз и технологии его производства являются важной частью устойчивого энергоснабжения наряду с биоэнергоснабжителями. С точки зрения децентрализованного энергоснабжения, охраны окружающей среды и сельского хозяйства преимущества биогаза бесспорны. Из биогаза производятся не только электроэнергия и тепло, но и биометан, обладающий качествами природного газа.

Республика Беларусь благодаря значительному поголовью крупного рогатого скота, свиней и птицы обладает огромным потенциалом для использования нетрадиционных источников энергии на основе использования биологических отходов. До сих пор этот потенциал остается не востребованным, так как в стране полностью отсутствует культура вторичного использования биологических отходов. Одним из способов решения данной проблемы является использование биогазовых технологий, суть которых заключается в переработке биологических отходов в реакторе биогазовой установки без доступа воздуха. В биогазовой установке происходит переработка навоза и растительных остатков с получением горючего биогаза и высококачественного удобрения - биошлама.

Биогаз – это горючая газовая смесь, состоящая из 50–70% метана, которая образуется из органических субстанций в результате анаэробного и микробиологического процессов. Также в состав биогаза входят 30 – 40% углекислого газа и небольшие количества сероводорода, аммиака, водорода и оксида углерода.

Зачастую биогаз используется для преобразования энергии в электрическую и тепловую. С точки зрения эффективности следует выбирать получение тепловой энергии. Для этого используются практически исключительно блочные тепловые электростанции (БТЭЦ) с двигателями внутреннего сгорания, которые соединены с генератором. В качестве двигателя используются газовые двигатели Отто или газожидкостные двигатели. Последние в прошлом использовались чаще, а новые установки в двух из трех случаев оснащены газовыми двигателями Отто. Они работают по принципу Отто без дополнительного жидкого запального топлива, разница заключается только в уплотнении.

Газовые двигатели Отто – это специально разработанные для эксплуатации на газе двигатели. Двигатели для минимизации выбросов оксида азота эксплуатируются со значительно увеличенной долей воздуха. При таком режиме эксплуатации в двигатели подается меньше топлива, что ведет к уменьшению их мощности. Это компенсируется при помощи турбонагнетателя. Газовые двигатели Отто могут работать на биогазе с содержанием метана не меньше 45 %.

Газожидкостные двигатели работают по принципу дизельного двигателя. Они не всегда разработаны специально для газа и поэтому могут нуждаться в модифицировании. Биогаз в газосмесительной камере смешивается с воздухом, а затем смесь воспламеняется запальным топливом. Из-за относительно небольшого объема впрыскиваемого запального топлива форсунки впрыска недостаточно охлаждаются и возникает опасность их закоксуывания и более быстрого износа.

Двигатель Стирлинга относится к двигателям горячего газа или детандерам. Здесь поршни перемещаются в результате расширения замкнутых газов, которые расширяются

вследствие подачи энергии или тепла внешнего источника энергии. Благодаря непрерывному сжиганию двигателя Стирлинга отличаются незначительными выбросами вредных веществ и шума, а также малыми затратами на обслуживание. Электрический КПД по сравнению с обычными газовыми двигателями Отто ниже. Благодаря внешнему сжиганию к качеству биогаза предъявляются незначительные требования, поэтому могут применяться газы с незначительным содержанием метана.

Газовыми микротурбинами называют небольшие, быстроработающие газовые турбины с низкими температурами и давлениями в камере сгорания в нижнем диапазоне электрической мощности до 200 кВт. Благодаря непрерывному сжиганию с избытком воздуха и незначительными давлениями в камере сгорания газовые микротурбины отличаются значительно уменьшенными выбросами отработавших газов по сравнению с двигателями. Недостатком газовых микротурбин является относительно малый электрический КПД. Однако довольно низкое значение по сравнению с обычными биогазовыми двигателями компенсируется хорошим режимом частичной нагрузки. По сравнению с концепциями использования биогаза аналогичной мощности для двигателей инвестиционные затраты на 15 - 20 % выше.

Принцип действия топливного элемента отличается от обычных видов выработки электроэнергии из биогаза. В данном случае преобразование химической энергии в электроэнергию происходит напрямую. Топливный элемент обеспечивает высокий электрический КПД при эксплуатации почти без выбросов вредных веществ.

В ходе проведенной работы изучается, насколько можно снизить инвестиционные затраты и устранить еще возникающие технические проблемы, прежде всего при использовании биогаза.

Литература

1. Мясникович М.В., Михалевич А.А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: состояние и пути решения проблемы// Наука и инновации. -2005.-С. 2-11.
2. Гусаков В.Г. [и др.]. Энергоэффективность аграрного производства/ под общ. ред. академиком В.Г. Гусакова и Л.С. Герасимовича.-Минск: Беларуская навука, 2011.-775с.

УДК 621.314

ПРОГРАММА «ТЕПЛОМАГ»

Малащук А.М., Кулаков В.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Изучением обогрева трубопроводов я начал практически случайно. В интернете на одном из сайтов увидел программу «ТЕПЛОМАГ». Прочитав пару строк описания, понял, что при помощи данной программы можно легко выполнить расчет по выбору нужных компонентов для системы электрообогрева труб.

В настоящее время на потребительском рынке можно встретить немало производителей оборудования и материалов для обогрева трубопроводов. Я остановил свой выбор на ССТ (Специальные системы и технологии) «Тепломаг».

Почему я выбрал именно «Тепломаг»?

«Тепломаг» - программа для расчета систем подогрева трубопроводов. Программа позволяет рассчитывать теплотери при различных параметрах трубопровода, а также подобрать необходимые нагревательные кабели и аксессуары. Данная программа позволяет компенсировать теплотери. Также можно рассчитать параметры разогрева и охлаждения труб.

Меня как проектировщика интересует в первую очередь наличие всей необходимой информации для проектирования. Для выполнения проекта по обогреву трубопровода я использовал каталог «Тепломаг», программу для расчета, руководства по эксплуатации и помощь специалистов. На все свои вопросы я получал своевременно ответы от квалифицированных специалистов, за что в копилку «Тепломаг» заносим еще один плюсики.

Итак, приступим ближе к теме.

Оборудование «Тепломаг» позволяет достичь несколько целей:

выполнить защиту трубопровода от замерзания (разогрев);

поддержание требуемой температуры трубопровода (поддержание температуры).

Как происходит обогрев трубопровода?

Прежде, чем начать проектирование системы электрообогрева трубопровода нужно понимать, как происходит обогрев трубы. Для обогрева труб изготавливают специальные нагревательные кабели, которые при прохождении по ним тока выделяют тепло. Самый простой и дешевый способ – включить нагревательный кабель в розетку и все дела. Дешевый он будет по первоначальным капиталовложениям, т.к. нам не придется тратить на вспомогательное оборудование. Возможно, в самых простейших системах обогрева так и делают. Этот не наш случай.

Для управление нагревательным кабелем устанавливают на трубу датчик температуры, который передает информацию регулятору температуры. При попадании температуры в нужный диапазон, регулятор температуры при помощи вспомогательного контактора включает либо отключает нагревательный кабель. Нагрев осуществляется лишь тогда, когда это необходимо, т.е. когда температура трубы опускается ниже допустимого значения.



Рисунок 1 - Система промышленного обогрева труб

Весь процесс проектирования системы обогрева можно разбить на несколько этапов:

1 Сбор исходных данных.

Анализируем задание на обогрев и собираем недостающие данные. Основные характеристики — это диаметр и длина трубопровода, перекачиваемая среда, требуемая температура, изоляция трубы, наличие задвижек и опор.

2 Анализ сложности трассы.

В случае, если у вас нет ответвлений, то считайте, что вам повезло. Если же обогреваемая труба имеет ответвления, то каждый участок рассчитывают отдельно.

На этом этапе мы предварительно разбиваем наш обогреваемый трубопровод на отдельные участки. Для каждого участка будет свой нагревательный кабель.

3 Расчет и подбор оборудования.

Ниже представлен внешний вид программы «Тепломаг».

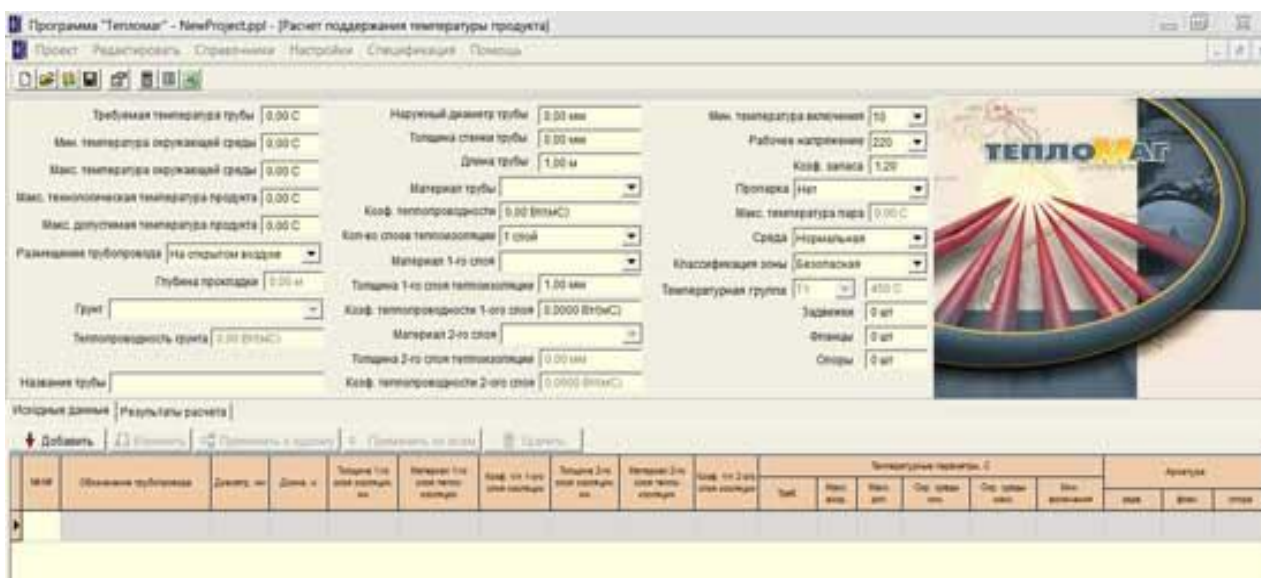


Рисунок 2 - Внешний вид программы ТЕПЛОМАГ

Создаем новый проект и выполняем расчет для каждого участка. После того как заполнили исходные данные, программа подберет оборудование и посчитает мощность и потребляемый ток нагревательной ленты. Для меня важно тип нагревательного кабеля и потребляемая мощность. Программа генерирует и спецификацию, но к ней следует относиться осторожно, лучше подобрать все вручную.

С помощью этой программы можно организовать поддержание температуры перекачиваемой жидкости, а также защитить трубопровод от замерзания. Подобным образом можно выполнить обогрев трубопроводов с использованием оборудования других производителей. Данная программа очень полезна и ей стоит пользоваться.

Литература:

1. Проектирование системы обогрева технологических трубопроводов [Электронный ресурс] - 2011 - Режим доступа: <http://220blog.ru/proektirovanie/proektirovanie-sistemy-obogreva-texnologicheskogo-truboprovoda.html> - Дата доступа: 16.05.2016
2. Программа "Тепломаг" [Электронный ресурс]. - 2016. - Режим доступа: <http://www.proektant.org/index.php?topic=1078.0>. - Дата доступа: 16.5.2016.

УДК 621.577

МЕРЫ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС

Позднякова М.И.

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

ТЭС работают на органическом топливе, в качестве которого используют сравнительно дешевые уголь и мазут. Эти виды топлива - невозполнимые природные ресурсы. Основные энергетические ресурсы в мире сегодня - уголь (40%), нефть (27%), газ (21%). Однако этих запасов, по некоторым оценкам, хватит, соответственно, на 270, 50 и 70 лет, и это при условии, что человечество будет расходовать их с той же скоростью, что и сегодня.

Сжигание топлива на ТЭС связано с образованием продуктов сгорания, содержащих летучую золу, частицы недогоревшего пылевидного топлива, сернистый и серный ангидрид, оксиды азота и газообразные продукты неполного сгорания, а при сжигании мазута, кроме того, соединения ванадия, соли натрия, кокс и частицы сажи. В золе некоторых топлив имеется мышьяк, свободный диоксид кремния, свободный оксид кальция и др. Перевод с твердого топлива на газовое ведет к значительному удорожанию вырабатываемой энергии, не говоря уже о дефиците и того, и другого. Кроме того, это не решит проблемы загрязнения атмосферы. Перевод установок на жидкое топливо существенно уменьшает золообразование, но практически не влияет на выбросы окиси серы, так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат более 2% серы. При сжигании газа в дымовых выбросах также содержится оксид серы, а содержание оксидов азота не меньше, чем при сжигании угля.

Так как не хватает качественного топлива, ТЭС работают на низкосортном. В процессе сгорания такого топлива образуются загрязняющие вещества, которые выводятся в атмосферу с дымом и попадают в почву с золой. Помимо того, что эти выбросы неблагоприятно влияют на окружающую среду, продукты сгорания вызывают выпадение кислотных осадков и парниковый эффект, который грозит нам засухами.

Кроме того, происходит значительное тепловое загрязнение водоемов при сбрасывании в них теплой воды, что сопутствует цепным природным реакциям: зарастанию водоемов водорослями, нарушению кислородного баланса, что создает угрозу для жизни обитателей рек и озер. Основными факторами воздействия ТЭС на гидросферу являются выбросы теплоты, следствием которых могут быть: постоянное локальное повышение температуры в водоеме; временное повышение температуры; изменение условий ледостава, зимнего гидрологического режима; изменение условий паводков; изменение распределения осадков, испарений, туманов.

На ТЭС с охлаждающей водой сбрасывается от 4 до 7 кДж теплоты на каждый 1 кВт·ч выработанной электроэнергии. По санитарным нормам тепловые сбросы не должны повышать собственную температуру водоема более чем на 5° в зимнее время и 3° в летнее.

Источниками загрязнения атмосферы являются производственные стоки и выбросы продуктов сгорания. К сточным водам ТЭС относятся следующие воды: содержащие нефтепродукты, после обмывки поверхностей нагрева паровых котлов, сбросные после установок химической очистки, консервации и промывок оборудования, а также систем гидрозолоудаления.

Количество сточных вод, содержащих нефтепродукты, не зависит от мощности станции и типа оборудования, хотя при использовании жидкого топлива оно несколько выше, чем для ТЭС на твердом топливе. В то же время в основном количество их зависит от качества монтажа и эксплуатации оборудования электростанции.

Совершенствование конструкции оборудования, тщательное соблюдение правил его эксплуатации позволяют снизить до минимальных значений количество поступающих в сточные воды нефтепродуктов, а применение различного типа ловушек и отстойников позволяет исключить их попадание в окружающую среду.

Загрязняющие примеси выбросов электростанций воздействуют на биосферу района расположения предприятия, подвергаются различным превращениям и взаимодействиям, а также осаждаются, вымываются атмосферными осадками, поступают в почву и водоемы. Кроме основных компонентов, образующихся в результате сжигания органического топлива (углекислого газа и воды), выбросы ТЭС содержат пылевые частицы различного состава, оксиды серы, оксиды азота, фтористые соединения, оксиды металлов, газообразные продукты неполного сгорания топлива. Их поступление в воздушную среду наносит большой ущерб, как всем основным компонентам биосферы, так и предприятиям, объектам городского хозяйства, транспорту и населению городов. Наличие пылевых частиц, оксидов серы обусловлено содержанием в топливе минеральных примесей, а наличие оксидов азота – частичным окислением азота воздуха в высокотемпературном пламени.

Наиболее высокой биологической активностью обладает диоксид азота, который оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и слизистую оболочку глаза. Также большую экологическую опасность для человека представляют тяжелые металлы. Попадая в организм в больших количествах, в течение короткого времени они могут вызвать острое отравление, а при хроническом воздействии малых доз в течение продолжительного времени может проявиться канцерогенное действие мышьяка, хрома, никеля и т.д. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа-400 млн. доз, магния -1,5 млн. доз. Предельно допустимой признана такая концентрация, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не снижает работоспособности, не влияет на его самочувствие или настроение. При косвенном действии учитывалось влияние загрязняющих веществ на микроклимат и зеленые насаждения. Распространение перечисленных выбросов в атмосферу зависит от рельефа местности, скорости ветра, перегрева их по отношению к температуре окружающей среды, высоты облачности, фазового состояния осадков и их интенсивности. Взаимодействие выбросов с туманом приводит к образованию устойчивого сильно загрязненного мелкодисперсного облака - смога, наиболее плотного у поверхности земли. Одним из видов воздействия ТЭС на атмосферу является все возрастающее потребление воздуха, необходимого для сжигания топлива.

Нужно сказать, что воздействия ТЭС на окружающую среду значительно отличаются по видам топлива. Наиболее «чистое» топливо для тепловых электростанций – газ, как природный, так и получаемый при переработке нефти или в процессе метанового брожения органических веществ. Наиболее «грязное» топливо – горючие сланцы, торф, бурый уголь. При их сжигании образуется больше всего пылевых частиц и оксидов серы. Хотя в настоящее время значительная доля энергии производится за счет относительно чистых видов топлива (газ, нефть), но закономерной является тенденция уменьшения их доли. По имеющимся прогнозам, эти энергоносители потеряют свое ведущее значение уже в первой четверти XXI столетия. Не исключена вероятность существенного увеличения в мировом энергодобавлении использования угля. По имеющимся расчетам, запасы углей таковы, что они могут обеспечивать мировые потребности в энергии в течение 200-300 лет. Возможная добыча углей, с учетом разведанных и прогнозных запасов, оценивается более чем в 7 триллионов тонн. При этом более 1/3 мировых запасов углей находится на территории России. Поэтому закономерно ожидать увеличения доли углей или продуктов их переработки (например, газа) в получении энергии, а, следовательно, и в загрязнении среды. Угли содержат от 0,2 до десятков процентов серы в основном в виде пирита, сульфата закисного железа и гипса. Для соединений серы существуют два подхода к решению проблемы минимизации выбросов в атмосферу при сжигании органических топлив:

- 1) очистка от соединений серы продуктов сгорания топлива (сероочистка дымовых газов);
- 2) удаление серы из топлива до его сжигания.

К настоящему времени по обоим направлениям достигнуты определённые результаты. В числе достоинств первого подхода следует назвать его безусловную эффективность – удаляется до 90-95% серы – возможность применения практически вне зависимости от вида топлива. К недостаткам следует отнести большие капиталовложения. Энергетические потери для ТЭС, связанные с сероочисткой, ориентировочно составляют 3-7%. Основным преимуществом второго пути является то, что очистка осуществляется независимо от режимов работы ТЭС, в то время как установки по сероочистке дымовых газов резко ухудшают экономические показатели электростанций за счёт того, что большую часть времени вынуждены работать в нерасчётном режиме. Установки же по сероочистке топлив можно всегда использовать в номинальном режиме, складывая очищенное топливо.

Проблема снижения выбросов окислов азота ТЭС серьёзно рассматривается с конца 60-х годов. В настоящее время по этому вопросу уже накоплен определённый опыт. Методы: 1) уменьшение коэффициента избытка воздуха (так можно добиться снижения содержания окислов азота на 25-30%, уменьшив коэффициент избытка воздуха с 1,15 - 1,20 до 1,03); 2) разрушение окислов до нетоксичных составляющих.

Для уменьшения концентрации загрязняющих соединений в приземном слое воздуха котельные ТЭС оборудуют высокими, до 100-200 и более метров, дымовыми трубами. Но это приводит также к увеличению площади их рассеивания. В результате крупными промышленными центрами образуются загрязнённые области протяженностью в десятки, а при устойчивом ветре – в сотни километров.

Несомненно, что в ближайшей перспективе тепловая энергетика будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе мира и отдельных стран. Велика вероятность увеличения доли углей и других видов менее чистого топлива в получении энергии. В этой связи изучим некоторые пути и способы их использования, позволяющие существенно уменьшать отрицательное воздействие на среду. Эти способы базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания загрязняющих выбросов. Важно помнить на каждой стадии проектирования новой ТЭС, что взаимодействие энергетического предприятия с окружающей средой происходит на всех стадиях добычи и использования топлива, преобразования и передачи энергии. Тепловой электростанцией активно потребляется воздух. Образующиеся продукты сгорания передают основную часть теплоты рабочему телу энергетической установки, часть теплоты рассеивается в окружающую среду, а часть - уносится с продуктами сгорания через дымовую трубу в атмосферу, и эти продукты сгорания содержат оксиды азота, углерода, серы, углеводороды, пары воды и другие вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях, которые наносят вред не только нам, людям, но и природе.

Литература

1. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов/ Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин - М.: Энергоатомиздат, 1995;
2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. Учебник для вузов по специальности «Тепловые электрические станции». М., «Энергия», 1976;

УДК 621.577

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭЦ

Иванова О.А., Скицунова И.А.

Научный руководитель – м.т.н. Бобич А.А.

Тепловые насосы являются сегодня признанным энергоэффективным и экологически чистым теплогенерирующим оборудованием, срок службы которого составляет 20 - 25 лет.

Тепловым насосом называется техническое устройство, реализующее процесс переноса низкотемпературной теплоты, не пригодной для прямого использования, на более высокотемпературный уровень.

В настоящее время определились два основных принципиальных направления в развитии тепловых насосов:

1. Парокомпрессионные тепловые насосы (ПКТН).
2. Абсорбционные тепловые насосы (АБТН).

Абсорбционный тепловой насос — устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой.

Абсорбционные установки обратного цикла уступают по энергетическим характеристикам парокомпрессионным машинам, но если последним для работы требуется энергетически и экономически более ценная механическая энергия, то первые могут использовать дешёвую тепловую энергию отборов паровых турбин, утилизационных котлов энергии выхлопных газов газовых двигателей внутреннего сгорания, вторичных энергоресурсов.

В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе, рис. 1.

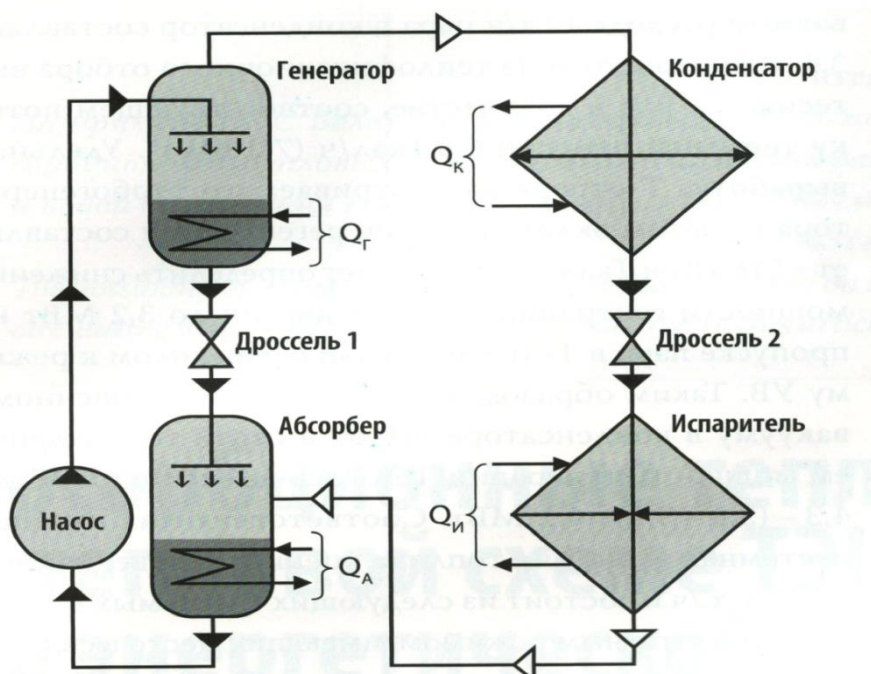


Рисунок 1 - Принципиальная схема простейшей АБХМ обратного цикла (Q_G , Q_I -подводимая теплота в генераторе от греющего теплоносителя и в испарителе от охлаждаемого теплоносителя; Q_K , Q_A -подводимая теплота в конденсаторе и абсорбере к нагреваемому теплоносителю)

Схема реального АБТН несколько сложнее, что связано с регенерацией, повышающей энергетическую эффективность установки, из-за чего несколько увеличивается число теплообменников и сложность схемы.

Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки.

Рассматривается использование тепловых насосов (ТН), использующих потоки рассеяния тепловой энергии для нагрева сетевой воды на ТЭЦ.

Возникает вопрос, что более рационально: использование ПКТН, требующего внешний источник дорогой электроэнергии для привода, или АБТН, потребляющего на привод тепловую энергию?

Для ответа на поставленный вопрос рассмотрим простейший вариант применения ТН обоих типов на ТЭЦ.

Для привода ПКТН используется электроэнергия, для привода АБТН — пар из регенеративного отбора.

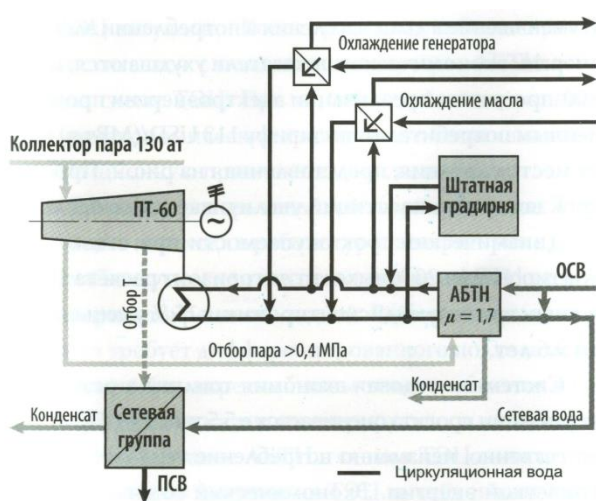


Рисунок 2. Принципиальная схема интеграции АБТН в тепловую схему ТЭЦ

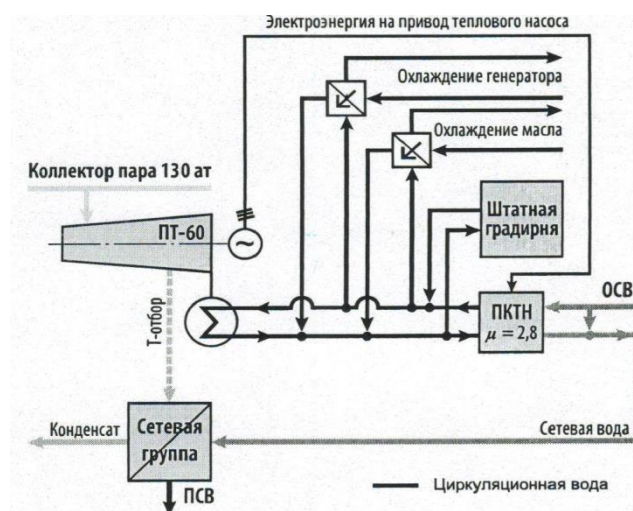


Рисунок 3. Принципиальная схема включения ПКТН в тепловую схему ТЭЦ

Вариант с АБТН

Минимально допустимый расход пара в конденсатор турбины ПТ-60 составляет 12 т/ч, соответственно величина утилизируемого потока составляет 6,2 Гкал/ч. На потоке циркуляционной воды, охлаждающей конденсатор, устанавливается АБТН с коэффициентом преобразования 1,7. Для его привода используется тепловая энергия в виде пара из регенеративного отбора в количестве 8,8 Гкал/ч ($6,2 / (1,7 - 1)$), а отпуск тепловой энергии составляет 15 Гкал/ч ($6,2 + 8,8$), что необходимо потребителю. На потоке пара, требуемого на привод АБТН из регенеративного отбора, и потоке пара в конденсатор в турбогенераторе вырабатывается электроэнергия с удельной выработкой соответственно 362 и 687 кВт·ч/Гкал. На основании приведённых данных определяется мощность генерации электроэнергии указанных потоков пара:

- на потоке пара в регенеративный отбор генерируется поток электроэнергии мощностью $362 \times 8,8 / 1000 = 3,2$ МВт;
- на потоке пара в конденсатор — $687 \times 6,2 / 1000 = 4,2$ МВт.

Суммарная мощность генерации указанных потоков равна 7,4 МВт.

Вариант с ПКТН

ТН устанавливается на том же потоке циркуляционной воды, что и в варианте с АБТН с коэффициентом преобразования 2,8. Для привода ТН используется электроэнергия от турбогенератора, мощность потока потребления которой составляет 4,0 МВт ($(6,2 / (2,8 - 1))$)

х 1,163). Отпуск тепловой энергии от ТН соответствует величине 9,6 Гкал/ч (6,2 + 3,4). Недостающее количество тепловой энергии, необходимой потребителю, в объеме 5,4 Гкал/ч (15 – 9,6) отпускается из Т-отбора, который характеризуется удельной выработкой 516 кВт·ч/Гкал. Определяем мощность потоков электроэнергии, генерируемой в турбогенераторе на соответствующих потоках пара:

- поток в Т-отбор — 2,8 МВт (516 х 5,4 / 1000);
- поток в конденсатор — 4,2 МВт (687 х 6,2 / 1000).

Суммарная мощность генерации за вычетом нужд ТН составляет 3,0 МВт (2,8 + 4,2 – 4,0).

В обоих вариантах мощность турбогенератора снижается, и соответствующее количество электроэнергии вырабатывается другими системными конденсационными источниками, парогазовыми блоками (ПГУ).

Из анализа полученных результатов следует, что на основании критерия системной экономии топлива эффективен только вариант с установкой абсорбционного теплового насоса.

Принципиальные схемы интеграции ТН в тепловую схему ТЭЦ приведены на рис. 2 и 3.

Экологическая эффективность применения тепловых насосов выражается в их возможности сокращать при работе одновременно физическое и химическое загрязнение окружающей среды.

Основным показателем экологической эффективности ТН является сокращение объемов выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами, т.е. тепловые насосы оказывают меньшую нагрузку на окружающую среду. При этом основным для экономической оценки экологической эффективности является учет выбросов оксида углерода как антропогенного парникового газа, которые составляют около 1700 кг при сжигании природного газа объемом 1 т у.т.

Из известных способов экономической оценки сокращения выбросов с дымовыми газами для практического применения можно рассматривать плату по действующим ставкам налога на выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду (экологический налог) и механизм торговли квотами.

Литература

1. Гельперин Н.И. Тепловой насос / Гельперин Н.И. // Госнаучтехиздат, Ленхимсектор — Л.: — 1931.
2. Жидович И.С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения / Жидович И.С. // Энергосбережение. — Минск— 2014.
3. Попырин Л. С., Дильман М. Д. Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок // Теплоэнергетика. — 2006. — № 2. — С. 34–39.
4. Потапова, А. А. Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения промышленного предприятия и города / А. А. Потапова, И. А. Султангузин // Металлург. — № 9. — 2010.
5. Романюк, В. Н. Развитие энергосбережения на базе инновационной технологии абсорбционных тепловых насосов / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, Д. Б. Муслина, Н. А. Коломыцкая, Т. В. Бубырь, С. В. Мальков // Энергоэффективность. — № 2. — 2013. — С. 28–31.
6. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения её энергетической эффективности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина, А. А. Бобич, Н. А. Коломыцкая, Т. В. Бубырь, С. В. Мальков // Энергия и Менеджмент. — № 1. — 2013. — С. 14–19.
7. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина, А. А. Бобич, Н. А. Коломыцкая, Т. В. Бубырь, С. В. Мальков // Энергия и Менеджмент. — № 2. — 2013. — С. 4–9.
8. Романюк, В. Н. Абсорбционные тепловые насосы на ТЭЦ Белорусской ОЭС на примере Мозырской ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — № 1. — 2015. — С. 4–11.

УДК 661.577

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ТРУБОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Шевчук И.В., Королев А.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Седнин В.А.

Перспективными направлениями совершенствования энергоиспользования в металлургических производствах является энерготехнологическое комбинирование и утилизация побочных энергетических потоков. В основе построения подобных технологических схем лежит организация органической увязки технологических процессов с выработкой энергоносителей на базе совмещения технологической и энергетической функций технических объектов. Вопросам утилизации побочных продуктов уделяется значительное внимание, однако, из-за ряда объективных причин до настоящего времени они остаются проблемными. В тоже время появление на мировом рынке энергетической технике новых установок для использования низкопотенциальных энергетических потоков позволяет пересмотреть ряд старых подходов.

В ходе исследования проведен анализ технологических схем нескольких металлургических производств с целью определения характеристик технологических установок как источников побочных энергетических ресурсов и разработана схема утилизации теплоты в трубопрокатном производстве.

После прокатки трубы на редуционно-растяжном стане она направляется на холодильник с температурой около 950°C для охлаждения естественным способом. Предполагается установка раздвижной конструкции над холодильником, на которой будут закрепляться приемники лучистой энергии.

Первый возможный вариант данной установки предполагает прямое преобразование лучистой энергии раскаленного металла в электроэнергию с помощью фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов). Это могут быть такие же фотоэлементы, которые используются для выработки электроэнергии на солнечных электростанциях, однако фотоэлементы работают только в диапазоне видимого излучения, а труба испускает излучение в инфракрасном спектре.

Второй вариант является наиболее простым и эффективным. Он предполагает установку вместо фотоэлементов параболоцилиндрического зеркала, в фокальной плоскости у которого будет расположена трубка, по которой под давлением будет прокачиваться термомасло. Зеркало фокусирует лучи на трубке, масло нагревается и в теплообменнике отдает свою энергию воде. Данный теплообменник можно назвать своеобразным котлом-утилизатором, только в данном случае греющим теплоносителем является термомасло, тогда как в классическом случае это дымовые газы (технологические или же после газовой турбины). Полученный из воды пар направляется в паровую турбину, которая и вырабатывает электроэнергию. Данная установка имеет ограничения по максимальной температуре термомасла, она составляет 400°C, при большей температуре оно начинает разлагаться.

Основную сложность в ходе работы над диссертацией представляет расчет процесса теплообмена между металлом и концентратором, так как методика для него отсутствует.

Литература

1. Тимошпольский В. И., Герман М. Л., Менделев Д. В. Обзор основных направлений модернизации печного парка и совершенствование технологий нагрева и термической обработки слитков и заготовок в условиях современного машиностроительного предприятия // *Литье и металлургия*. 2007. № 4. С. 54–62.
2. Казанцев Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. М.: Металлургия, 1975. – 367 с.

УДК 519.876.5

СИСТЕМА КОМПАС-3D

Логоненков Р.А.

Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа.

Программа является уникальным комплексным продуктом от компании "АСКОН", позволяющая наиболее оптимально сконструировать любую твердотелую модель. Эта разработка возлагает на себя всю рутинную деятельность архитекторов, проектировщиков и инженеров, увеличивая эффективность труда в несколько раз.

Вместе с созданием трехмерной конструкции, возможно получать самые различные расчеты. Основываясь на этих цифрах, программа сама предоставляет нужную отчетность. Это стало возможным благодаря большой библиотеке собранных формул. Программе доступны абсолютно все виды документации, даже если они предоставляются иностранным заказчикам или применяются на предприятиях, где давно сложилась нестандартная форма отчетности.

Моделирование изделий в КОМПАС-3D можно вести как: "снизу вверх" (используя готовые компоненты), так и "сверху вниз" (проектируя компоненты в контексте конструкции), опираясь на компоновочный эскиз (например, кинематическую схему), либо смешанным способом. Благодаря такому подходу обеспечивается легкая модификация получаемых моделей.

Специализированное приложение для КОМПАС-3D, предназначенное для автоматизации процесса трехмерного моделирования электрических кабелей и жгутов, а также для выпуска конструкторской документации на эти изделия

Специализированное приложение для системы КОМПАС-3D, предназначенное для автоматизации типовых работ по проектированию трубопроводов. Библиотека предназначена для использования в области машиностроения и при проектировании инженерных сетей.

Преимущества и недостатки Компас 3D

- + Система легка для изучения, особенно конструкторами без опыта работы в 3D
- + Наличие обширных библиотек стандартизованных по ГОСТ элементов
- + Легко достать, распространяется бесплатная учебная версия
- + Относительно удобный и несложный для обучения интерфейс
- Затруднено последующее переучивание на другие системы, особенно «тяжёлые»
- Система развивается крайне медленно
- Систему трудно и дорого модифицировать под свои нужды
- Иногда возникают проблемы с импортированием моделей из других CAD

Литература

1. Слепова С. В., Шахина М. А. Система автоматизированного проектирования "Компас-3D" (мультимедийный курс лекций) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 3—2. С. 207—208.
2. Сторчак Н. А. Применение системы «Компас-3D» в преподавании инженерных дисциплин // Наукові нотатки, 2013. № 43. С. 206—209.

УДК 620.92

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Олешко Ю.С., Черехович О.В., Царик Е.В.
Научный руководитель – доцент Мигуцкий И.Е.

Солнечный коллектор — устройство для сбора тепловой энергии Солнца (гелиоустановка), переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала-теплоносителя. Максимальная производительность коллекторов приходится на тёплое время года, что делает удобным их использование для обеспечения горячей водой загородных коттеджей или небольших гостиничных комплексов. Размещают их, как правило, на крышах строений.

Система нагрева воды представляет собой трубчатый замкнутый контур, по которому циркулирует теплоноситель. Из коллектора горячий теплоноситель, поступает в бойлер. В бойлере происходит теплообмен. Находящаяся в нём вода, для водоснабжения, нагревается, а теплоноситель остывает. Остывший теплоноситель перетекает в накопительный бак. Из накопительного бака в коллектор, для последующего нагрева. Накопительный бак играет роль некоего аккумулятора горячей воды, что позволяет осуществлять нагрев, воды для хозяйственных нужд, в ночное время.

По сути, воздушный солнечный коллектор – это всего-навсего металлический ящик, причем его «лицевая крышка» выполнена из закаленного стекла (или из сотового поликарбоната). Внутри расположен главный элемент любого коллектора – абсорбер, теплопоглощающий блок. Он «отвечает» за нагрев теплоносителя (воды или же антифриза), и именно по типу абсорбера классифицируются все эти устройства. Внутри этого модуля циркулирует жидкость, которая нагревается под действием солнечных лучей, а затем передает накопленную энергию в контур водоснабжения.

Наружная поверхность абсорбера должна быть обязательно выкрашена черной матовой краской. Это необходимо для того, чтобы увеличить светопоглощение, а значит, и нагрев теплоносителя. Причем очень часто он обрабатывается дополнительным составом, который сводит к минимуму отражение солнечных лучей. Все это приводит к тому, что воздушные солнечные коллекторы могут поглощать до 99% лучей, преобразуя их в полезную энергию

В большинстве своём это большой металлический ящик с плоской стеклянной крышкой. Абсорбер (поглотитель) – главный рабочий элемент плоского коллектора. От возможности абсорбера вобрать как можно больше тепловой энергии Солнца, зависит эффективность работы коллектора. В качестве абсорбера используют металлические пластины, выкрашенные в чёрный цвет. Металл очень хорошо проводит тепло, а чёрный цвет обладает малой отражающей способностью. Под пластинами абсорбера, в плотном контакте, находятся трубки с теплоносителем. Дно и бока коллектора покрываются теплоизолирующими материалами. Стеклянная крышка делается из нескольких слоёв, что тоже снижает теплопотери. Для уменьшения отражающего эффекта верхнее стекло делается матовым.

Максимальная эффективность работы коллектора получается при попадании на него солнечных лучей под углом в 90°. Чтобы сделать это наиболее возможным применяются трубчатые коллекторы. Состоят они из нескольких десятков, запаянных стеклянных труб, внутри которых находится абсорбер. Для фокусировки солнечных лучей, задняя стенка труб делается зеркальной. В трубах создаётся вакуум, значительно снижая теплопотери. Теплопроводность вакуума настолько мала, что позволяет работать коллектору при отрицательных температурах. Не прекращает работать коллектор и в пасмурные дни из-за возможности вакуумных труб поглощать инфракрасное излучение, которое облака не задерживают.

Самым распространённым и недорогим теплоносителем является вода. При минусовых температурах она замерзает, и используется в коллекторах, работающих в летнее время.

Можно использовать незамерзающие жидкости типа антифриз. Это водные растворы, с какой-либо спиртосодержащей жидкостью. Лучшим теплоносителем является масло. У масла большая теплоёмкость, низкая температура замерзания и высокая температура кипения. Эти качества, как нельзя лучше, отвечают требованиям к теплоносителям. Недостатком такого теплоносителя является повышенная вязкость. Поэтому, чтобы использовать масло, необходимо подключение насоса, который будет обеспечивать равномерную циркуляцию теплоносителя по коллектору. По стоимости трубчатые коллекторы примерно в два раза дороже плоских, но значительно эффективней. Необходимые размеры коллектора берутся из расчёта 1,5 м² на одного пользователя горячим водоснабжением. Исходя из этого, можно определиться для чего, где и какой коллектор нужно устанавливать.

Солнечные коллекторы компании Viessmann

В Беларуси продажей и реализацией солнечных коллекторов занимается компания Viessmann, которая производит 2 типа плоских коллекторов типа Vitosol 100-F и Vitosol 200-F и трубчатые коллекторы типа Vitosol 300-T SP3B.

Плоские коллекторы типа Vitosol 100-F и Vitosol 200-F

Эти мощные плоские коллекторы позволяют экономить в среднем в год 60 процентов энергии, необходимой для приготовления горячей воды. Причем благодаря солнечной энергии в комбинации с конденсационным котлом обеспечивается экономия более трети общегодовой энергии.

Преимущества использования:

- Плоские солнечные коллекторы с высокоэффективным титановым покрытием.
- Контроллеры Vitosolic для установок с подогревом воды двумя источниками - солнечными коллекторами и водогрейным котлом.
- Большой коэффициент использования с помощью абсорбера с высокоселективным покрытием, встроенной системы труб и высокоэффективной теплоизоляции.
- Модели абсорберов для горизонтального (SH1A, SH1B) или вертикального (SV1A, SV1B) монтажа.
- Быстрый монтаж с помощью гибких трубных соединений. Штекерная система позволяет соединить коллекторы между собой в группы до десяти штук.

Трубчатые коллекторы типа Vitosol 300-T SP3B.

Эффективное использование солнечного тепла - поглотитель с высокоизбирательным покрытием, усваивая особенно много солнечной энергии, обеспечивает высокий КПД. Особо эффективная теплоизоляция обеспечивается при этом за счет вакуума в трубках. В результате между стеклянными трубками и поглотителем практически отсутствуют потери – и коллектор способен преобразовывать даже малое количество солнечной энергии в полезное тепло. Особенно в переходный сезон и в зимние месяцы, при низких наружных температурах вакуумные трубчатые коллекторы особенно эффективно используют имеющуюся инсоляцию.

Преимущества использования:

- Очень высокая мощность за счет вакуумных трубок из антиотражательного стекла.
- Вакуумный трубчатый коллектор, работающий по принципу тепловой трубы, с автоматической функцией отключения при достижении заданной температуры для максимальной эксплуатационной надежности
- Повышение мощности за счет вращаемых трубок

- Постоянно высокая мощность без риска загрязнения
- Простой и быстрый монтаж

Вакуумные трубки из антиотражательного стекла и используемые материалы самого высокого качества обеспечивают превосходные показатели мощности. Этому способствует также высокоэффективная теплоизоляция из меламиновой смолы в корпусе коллектора.

Данный коллектор использует в своей работе принцип тепловой трубы.

Теплоноситель гелиоконтур не поступает напрямую в трубки. Вместо этого основной теплоноситель испаряется в тепловой трубе под поглотителем и отдает тепло через двухтрубный теплообменник Duotec теплоносителю гелиоконтур. Теплообменник особенно эффективно отбирает тепло и отдает его протекающему теплоносителю.

УДК. 697.34

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРУБЫ

Османов К.О.

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

Невозможно переоценить значение теплоизоляции. Одной из наиболее важных ее функций является повышение энергоэффективности. Правильная изоляция труб также необходима для продления срока эксплуатации и безопасности для окружающей среды. Изоляционный слой защищает стальные трубы от коррозии. В некоторых странах прокладка неизолированных труб вообще запрещена, так как отсутствие теплоизоляции (либо некачественная теплоизоляция) приводит к большим потерям тепла – понижению температуры теплоносителя на десятки градусов.

Основными требованиями к материалам, используемым для теплоизоляции труб, являются:

- низкий коэффициент теплопроводности;
- широкий температурный диапазон использования (устойчивость к резким температурным перепадам);
- паропроницаемость;
- воздухопроницаемость
- устойчивость к вибрации и др. механическим воздействиям.

В зависимости от используемого материала, трубы изолируются тремя основными способами:

- нанесение теплоизоляционного слоя на смонтированные трубы (напыление ППУ);
- монтаж теплоизоляционных скорлуп (минвата, ППУ и др.);

предизоляция труб.

Предизоляция труб по принципу «труба в трубе» в основном осуществляется с использованием пенополиуретана. Российский и зарубежный опыт доказал высокую эффективность использования предварительной изоляции с помощью ППУ.

Преимущества труб с изоляцией из пенополиуретана по сравнению с традиционными трубами:

- легкость и быстрота монтажа;
- долгий срок эксплуатации (30 лет в среднем);
- сокращение затрат на прокладку теплотрасс;
- сокращение расходов на обслуживание теплотрасс.

Преимущества применения данного материала являются такие качества, как низкая теплопроводность и малое влагопоглощение. Пенополиуретаном обрабатываются как металлические, так и полимерные трубы. Технология изоляции труб ППУ заключается в следующем: трубы тщательно очищаются и высушиваются. Затем, при необходимости (в случае если это металлическая труба), на трубу наносится антикоррозийное покрытие. ППУ заливается в межтрубное пространство – полость между трубой и защитной оболочкой, выполненной из полиэтилена.

Однако, в случае если температура транспортируемой среды превышает допустимую для ППУ, то возможна предварительная изоляция труб минватой. Трубы с изоляцией из минваты, покрытые оцинкованной гидрозащитной оболочкой выдерживают температуру теплоносителя до +250 градусов Цельсия.

Эффективной является технология предварительной изоляции труб с использованием ППМ - пенополимерминеральной изоляции. Изоляция ППМ изготавливается с добавлением кварцевого песка (либо других минеральных наполнителей). Основным достоинством ППМ изоляции является хорошая паропроницаемость. Пенополиминеральная изоляция не требует

нанесения на металлическую трубу антикоррозийного слоя, а также внешней защитной полиэтиленовой оболочки.

Однако, как показал опыт, методу предварительной изоляции ППУ трудно найти альтернативу. Высокая стоимость использования полимеров для предизоляции труб не может рассматриваться как недостаток, т.к. увеличивает срок эксплуатации на десятки лет, и нет необходимости в регулярной профилактике и ремонте на протяжении всего срока эксплуатации. Легкость при изготовлении и транспортировке – безусловное преимущество этого способа теплоизоляции. Обязательным требованием при эксплуатации предизолированных труб это – постоянный контроль над процессом увлажнения, для которого необходима установка электронной системы контроля.

Предварительная изоляция труб пенополиуретаном предусматривает еще он эффективный метод. Это – метод безоболочной ППУ изоляции. Технология заключается в следующем: ППУ заливается в межтрубное пространство с использованием специальных съемных форм. Данный метод позволяет не использовать внешний защитный слой. Безоболочная ППУ изоляция покрывается не полиэтиленовым, а «интегральным» слоем уплотненного ППУ. Преимуществом «интегрального» слоя в сравнении с полиэтиленовым слоем является его паропроницаемость.

Монолитная конструкция «труба в трубе» отличается от других систем высоким качеством и надежностью. С экономической точки зрения, дополнительные расходы на предварительную изоляцию полностью оправдывает многократное продление срока эксплуатации труб.

Литература

1. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию. /Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина, - М.: Энергоиздат, 1988. – 376 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. –М.: Энергоиздат, 1982. –360 с.

УДК 620.92

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Бойко Е.Г.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Романюк В.Н.

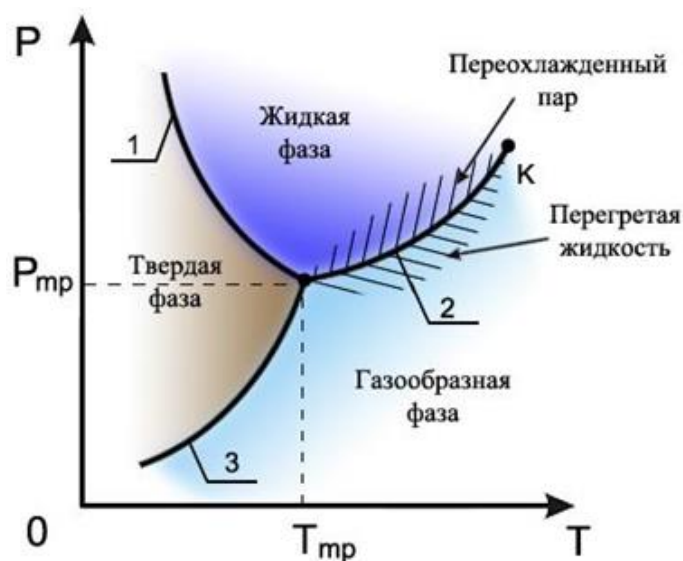
Влажный воздух – бинарная смесь водяных паров и сухой компоненты.

Влажный воздух в рассматриваемом диапазоне параметров рассматривается как смесь идеальных газов. К сухой компоненте влажного воздуха соотношения идеального газа применимы во всем диапазоне параметров. В отношении водяных паров, прежде всего, требуется учитывать законы фазового равновесия. Расчетные зависимости для описания свойств водяных паров предлагаются следующие: в области, соответствующей системе уравнений МАСП использовать имеющийся пакет прикладных программ, составленный на их основе. В области, выходящей за диапазон системы уравнений МАСП (международная ассоциация свойств воды и пара), а это давление ниже давления основной тройной точки и температур, превышающих температуру фазового равновесия «пар–твердая фаза», использовать уравнения и зависимости идеального газа. Кривая фазового равновесия «пар–лед» рассчитывается по уравнению Уэшбурну.

Свойства влажного воздуха характеризуются следующими основными параметрами: температура по сухому термометру, влагосодержание, относительная влажность, плотность, температура по мокрому термометру, температура точки росы, барометрическое давление, удельная теплоемкость.

Масса водяного пара в воздухе может меняться от 0 до максимального значения. В насыщенном воздухе количество пара является предельно возможным при данной температуре и равно массе пара в 1 м^3 воздуха в состоянии насыщения.

При расчетах процессов тепловлажностной обработки воздуха в аппаратах систем кондиционирования воздуха для получения энергоэкономичного решения приходится выполнять многовариантные вычисления. Использование известных расчетных зависимостей позволяет выполнить такие расчеты, однако температура мокрого термометра и точки росы определяется численными способами с использованием макросов. Сегодня это автоматизированные расчеты, для которых нужны прикладные программные комплексы. Имеющиеся в общедоступной среде прикладные программные комплексы либо не отвечают тем или иным требованиям, либо достаточно дорогие. Это в полной мере относится в расчету состояний влажного воздуха.



УДК 696.2/4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ ОТ БЫТОВЫХ СТОКОВ К ГВС

Власюк Д.И.

Руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Тепловые трубы (ТТ) используются в различных областях энергетики: в гелиоколлекторах, в хлебопекарных и кондитерских печах, в системах рекуперации воздуха, в системах отопления почвы в теплицах за счет теплоты земли, в сушильных установках и системах утилизации низкопотенциальных потоков тепла различных технологических процессов.

Основными материалами при изготовлении тепловых труб являются: алюминий, медь и сталь. В качестве теплоносителей могут использоваться фреоны, дистиллированная вода или аммиак.

Основным преимуществом ТТ является:

- высокий коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности ТТ (за счет фазовых переходов теплоносителя в тепловой трубе) и высокий коэффициент теплопередачи от испарителя в конденсатору ТТ.

- Способность быстро выходить на рабочий режим.

- ТТ могут работать при малом градиенте температур.

- ТТ могут работать независимо от взаимного расположения конденсатора и испарителя (капиллярная структура фитиля позволяет расположить испаритель ТТ выше конденсатора).

- Быстрый перенос энергии в тепловых трубах. В пределе скорость переноса энергии, равная скорости переноса пара, может достигнуть скорости звука.

Поскольку коэффициент теплоотдачи в зоне испарения и конденсации ТТ (около 10 кВт/м²К) значительно больше, чем с внешней стороны трубы (около 50 Вт/м²К), в тепловых трубах применяют оребрение с внешней стороны и различные способы интенсификации теплообмена (вынужденная конвекция, турбулизация потока).

Расход тепла на нужды ГВС в жилом доме составляет примерно 25% от общего потребления энергии в доме, при этом канализационные стоки жилых домов имеют температуру около 25°C, а температура водопроводной воды около 12°C.

В связи с вышесказанным можно сделать вывод, что теплоту канализационных стоков можно использовать для подогрева водопроводной воды, идущей на нужды ГВС.

На данный момент практикуют следующие способы утилизации данного потенциала теплоты:

1. Утилизация с использованием тепловых насосов. Однако использование ТН имеет определенные трудности: во-первых, нужно сооружать емкости в которых будут накапливаться стоки. А во-вторых Теплонасосные станции дорогие и имеют большие габариты
2. Использование обычных кожухотрубных или пластинчатых теплообменников. Данный способ нецелесообразен из-за быстрого загрязнения ТО и подходит только для т.н. серых стоков (когда канализация от ГВС и унитаза разделена).
3. Утилизация в специальных теплообменных резервуарах. Данный способ осуществим, но малоэффективен и требует установки резервуара.

В данной работе мы предлагаем использовать теплообменник на основе тепловых труб (рисунок 1) для передачи теплоты от канализации к водопроводной воде.

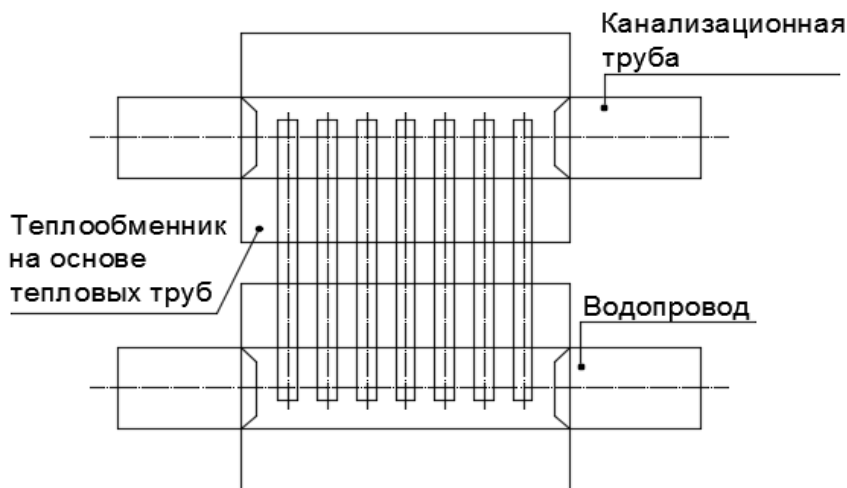


Рисунок 1 – Схема теплообменника на тепловых трубах

Преимущества данного метода:

1. Утилизация теплоты канализационных стоков, и экономия теплоты на нагрев горячей воды для ГВС.
2. При использовании теплообменника на основе ТТ между греющей и нагреваемой средой есть видимый разрыв, что обеспечивает надежную защиту от смешивания 2-ух потоков.
3. Теплообменник на основе ТТ имеет малое гидравлическое сопротивление.
4. Низкая чувствительность к загрязнению поверхности теплообмена.

ТО предполагается устанавливать в индивидуальном тепловом пункте перед теплообменником ГВС. Однако для этого необходимо подвести к тепловому пункту канализационный коллектор. Холодная вода, идущая на теплообменник ГВС проходит через ТО на тепловых трубах, подогревается и затем догревается уже сетевой водой (рисунок 2). Поскольку пики графика потребления горячей воды совпадают по времени с моментами её утилизации, в такие моменты теплообменник будет работать в номинальном режиме тем самым снижая нагрузку на теплотель.

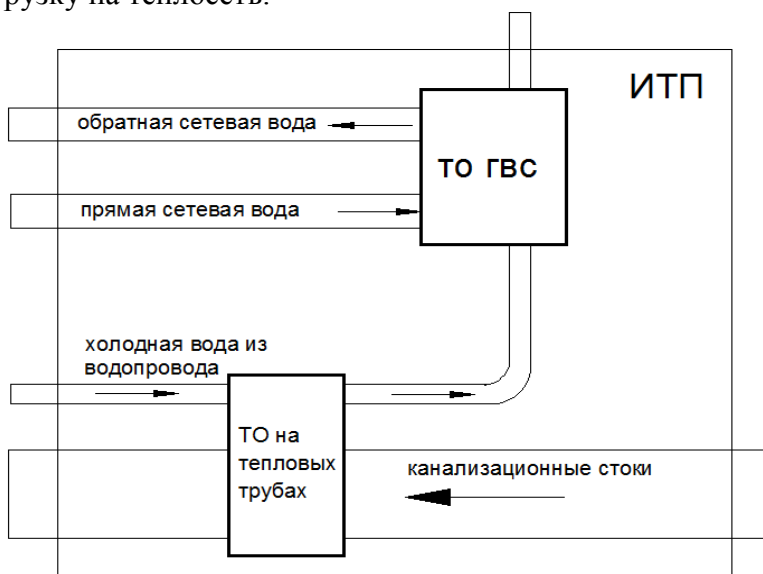


Рисунок 2 – Схема установки теплообменника в тепловом пункте

Для качественного регулирования температуры воды, идущей на ГВС, в случае установки данного теплообменника, необходима установка систем автоматизации и регулирующей арматуры в тепловом пункте, которая регулировала бы подачу сетевой воды в теплообменник нагрева воды на ГВС, в зависимости от расхода и температуры канализационных стоков.

Недостатки предлагаемых теплообменников:

1. Высокие капитальные затраты на закупку тепловых труб для теплообменника
2. Необходимость подвода канализации к тепловому пункту.

УДК 621.316.99

ВИРТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Ремез М.В.

Научный руководитель - д.т.н., профессор Седнин В.А.

Концепция виртуальной электростанции (ВЭС) зародилась несколько лет назад, между тем, ВЭС может помочь решить сразу несколько задач в энергетике – такие, как оптимизация, стабилизация, гибкость, интеграция. Иными словами, концепция ВЭС стремится к достижению ситуации, когда все участники энергосистемы, включая потребителей, находятся в выигрыше. Либерализация рынка, строительство объектов распределенной генерации и возобновляемых источников энергии, развитие информационных систем и увеличение потребности в электроэнергии, а также рост тарифа за счет роста инвестиционной нагрузки стимулируют к поиску новых и эффективных технологических решения в энергетике. На сегодняшний день одной из самых проработанных концепций «умного» контроля распределенной генерации является виртуальная электростанция. Виртуальная электростанция может объединять (соединять) ресурсы нескольких источников: мелких генераторов, объектов распределенной генерации, возобновляемых источников энергии, потребителей и т.п. ВЭС может выступать балансирующим механизмом всей энергетической системы – например, регулировать непостоянную выработку возобновляемых источников энергии и пиковые нагрузки. Она также может быть инструментом регулирования взаимоотношений с клиентами, а также инструментом маркетинга и рекламы для отдельного игрока рынка. Например, энергосбытовой компании, которая с помощью ВЭС может гарантировать своим клиентам бесперебойную поставку, более точный биллинг и низкие цены. ВЭС поможет сэкономить средства на строительство дополнительных мощностей, дорогостоящих пиковых электростанций.

Виртуальная электростанция (ВЭС) – это высокотехнологичная система, которая объединяет электроэнергию сразу от нескольких производителей и потребителей. Можно сказать, что ВЭС фактически управляет поведением как производителей, так и потребителей. Производителями в данном случае могут выступать объекты распределенной генерации, солнечные панели, биогазовые станции, ветровые станции, когенерация, небольшие гидроустановки и т.п. Потребителями могут выступать потребители электроэнергии, владеющие холодильными установками, кондиционерами, теплицами, дренажными насосами, дробильными установками, прокатными станами, электролизерами и т.п. Необходимо заметить, что такие объекты потребителей и производителей должны обладать гибкостью в производстве или потреблении электроэнергии. ВЭС не вмешивается непосредственно в производственный процесс. Таким образом, ВЭС регулирует объекты, обеспечивая поддержку энергосистеме, когда производство и потребление находятся в дисбалансе (пиковые нагрузки). Для работы ВЭС необходима «умная» инфраструктура: «умные» системы учета электроэнергии, коммуникация, например, связь через интернет, а также специальное программное обеспечение, которое будет балансировать доступные источники электроэнергии, сглаживая пиковые нагрузки в системе.

Виртуальная электростанция может играть роль стабилизатора энергосистемы. ВЭС, располагая информацией в реальном времени о возможностях разгрузки мощностей каждого из подключенных к системе потребителя, получает сигнал от регулятора и системного оператора. По предварительной и общей договоренности она контролирует потребление каждого потребителя, тем самым сглаживает общий график пиковой нагрузки и стабилизирует сеть. Формально модели функционирования ВЭС можно разделить на следующие:

1. Модель ВЭС: на рынке создается независимая энергосервисная организация, которая является оператором ВЭС. Этот оператор активно подключает потребителей к своей ВЭС,

при этом участникам выплачивается вознаграждение за участие в так называемых программах «Управления потреблением», которое зависит от условий системного оператора конкретного рынка.

2. Традиционная модель (модель энергосбытовой компании): компания, работающая на энергорынке (например, энергосбытовая), создает сеть, контролирующую различные объекты распределенной генерации и гибкой мощности своих потребителей.

3. Клиентоориентированная модель: потребители устанавливают на своей базе технологию ВЭС для обеспечения своих нужд. В данном случае ВЭС используется для управления собственным потреблением.

Огромное преимущество ВЭС состоит в том, что она обладает информацией о доступной генерации или спросе в близком к реальному режиму времени на подключенной к ВЭС территории. Кроме того, она располагает гибкостью в использовании той или иной генерации или доступной мощности потребителя, т. к. система автоматически высчитывает наиболее эффективный источник на данный момент времени.

Преимуществом виртуальной электростанции также является то, что архитектура ВЭС очень гибкая и может принимать множество различных форм. ВЭС можно интегрировать вертикально или горизонтально. Она может работать отдельно (независимо), а может быть частью большей системы ВЭС. В дополнение, несколько ВЭС можно подключить к общей энергосистеме.

Основная цель ВЭС – достижение ситуации, когда все участники энергосистемы, в том числе и ее потребители, находятся в выигрыше.

Система ВЭС собирает множество информации о доступных мощностях от генерации, спросе настоящем и прогнозируемом, возможностях разгрузки (гибкой мощности потребителей), желаемом графике нагрузки системы. Вся собранная информация обрабатывается в режиме времени, близком к реальному. ВЭС обладает информацией о наиболее эффективном производителе или потребителе на данном промежутке времени, учитывая настоящую ситуацию на рынке, прогноз погоды, который важен для объектов возобновляемых источников энергии.

С точки зрения использования концепции ВЭС непосредственно энергосбытовой компаниями интересен опыт внедрения такого проекта компанией Elektro Ljubljana (Словения). Технология ВЭС была предоставлена компанией cyberGRID (Австрия). Основными задачами проекта были снижение нагрузки сети и регулирование распределенной генерации. Если сбытовая компания способна оптимизировать потоки электроэнергии, то она способна минимизировать затраты дисбаланса либо торговать высвобожденной электроэнергией на рынке системных услуг. Elektro Ljubljana является самой крупной энергосбытовой компанией в Словении, она поставляет электроэнергию более чем 350 000 потребителей. Потребители Elektro Ljubljana, которые участвуют в проекте ВЭС, это сталелитейные заводы, литейные, бумажные комбинаты, торговые центры, производители стекла и керамики, химическая промышленность.

В завершение хотелось бы еще раз подчеркнуть некоторые выгоды различным участникам рынка от внедрения ВЭС:

1.

Распределительные и магистральные сети:

- Более прозрачная деятельность объектов распределенной генерации и контроль их активности на рынке
- Снижение пиковых нагрузок сети за счет регулирования нагрузками потребителей
- Снижение рисков перебоев сети
- Снижение уровня инвестиций в сеть
- Улучшение контроля работы негибкой и непостоянной распределенной генерации

2. Сбытовые компании:

- Улучшенный контроль над коммерческими рисками

- Новый уровень работы с потребителями, возможность предлагать новые программы
 - Доступ к более дешевым ресурсам
 - Улучшение надежности энергоснабжения
 - Улучшенный биллинг
3. Владельцы распределенной генерации и потребители:
- Получение платы за гибкую мощность
 - Возможность участвовать на рынке в полном объеме в качестве производителя
 - Увеличение стоимости активов
 - Более осмысленное потребление электроэнергии
 - Экономия средств за счет снижения потребления электроэнергии
4. Регулятор или Системный оператор:
- Балансирование и оптимизация рынка
 - Открытие рынка для более мелких участников
 - Получение дополнительной гибкой мощности
 - Достижение целей страны по снижению выбросов CO₂
 - Создание новых рабочих мест и снижение общей безработицы

УДК 620.92

ПЛАВУЧИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Бойко Е.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Иокова И.Л.

За последние годы во всем мире, в особенности в странах Евросоюза, резко возрос интерес к вопросам использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Возобновляемые источники энергии, к которым относят биомассу, гидроэнергию, энергии солнца, геотермальных вод и ветра, могут заменять ископаемые виды топлива, уменьшать выбросы парниковых газов и других вредных веществ.

На данный момент в Париже подписали новое климатическое соглашение, вместо Киотского протокола. Согласно этому соглашению все без исключения страны обязаны принять свои национальные цели по сокращению вредных выбросов,

Способность источников энергии возобновляться не означает, что изобретен вечный двигатель. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) используют энергию солнца, тепла, земных недр, вращения Земли. Если солнце погаснет, то Земля остынет, и ВИЭ не будут функционировать.

Основные преимущества солнечной энергетики известны. Это:

- Общедоступность,
- Независимость от сторонних поставщиков электроэнергии,
- Экологическая чистота и безопасность для здоровья.

К недостаткам этого вида энергии можно отнести:

- нестабильность,
- цикличность,
- неравномерность распределения по территории;

Одним из новых видов солнечной энергетики являются плавучие солнечные электростанции, о которых и пойдет далее речь.

Плавучая система сочетает преимущества наземной фиксированной системы и наземной вращающейся электростанции: в наземной фиксированной системе модули установлены относительно близко друг к другу, но все направлены строго на юг, а значит система малоэффективна утром и вечером. Наземные вращающиеся электростанции решают эту проблему, но занимают значительно большую площадь — модули приходится устанавливать на большем расстоянии друг от друга из-за длинных теней утром и вечером. Плавучая система позволяет всегда развернуть ее прямо к солнцу.

Отмечается, что солнечная электростанция эффективно работают при низких температурах, но их эффективность заметно снижается, если панель нагревается выше определенной температуры за счет тепла, поднимающегося от земли. Плавучие электростанции проектируются с учетом скорости ветра до 50м/с, а также изменений уровня воды.

Достоинства

- Перспективность,
- Доступность и неисчерпаемость источника энергии,
- Улучшенное охлаждение,
- Более высокий КПД.

Недостатки

- Зависимость от погоды и времени суток,
- При промышленном производстве — необходимость дублирования солнечных ЭС маневренными ЭС сопоставимой мощности.
- Высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индий и теллур).

Япония установила новый рекорд мощности плавучей солнечной электростанции. Компания Smart Energy сообщила о завершении строительства в городе Кавадзима к северу от Токио (префектура Сайтама) и вводе в эксплуатацию генерирующей установки, которая способна вырабатывать с помощью солнечных батарей до 8,3 млн кВт•ч электроэнергии в год. Согласно подсчетам энергетиков, этого достаточно, чтобы удовлетворить потребность в электричестве 2300 частных жилых домов.

До этого самой мощной плавучей солнечной электростанцией была так же построенная в Японии близ города Като (префектура Хёго). Ту станцию ввели в строй в июне прошлого года. Она дает около 3,3 млн кВт•ч в год, что обеспечивает электроэнергией примерно 920 типовых японских домохозяйств.

Нынешняя станция-рекордсмен расположена на поверхности большого озера площадью около 130 тыс. квадратных метров, вокруг которого находятся сельскохозяйственные угодья. При создании подобной плавучей электростанции было задействовано более 27,4 тыс. солнечных батарей (в Като установка состоит из 9 тыс. панелей).

Национальная Корпорация Гидроэлектроэнергетики Индии (NHPC) планирует строительство солнечной электростанции.

Электростанцию в 50 МВт планируют разместить в водоеме южного штата Керала.

Самая крупная в Европе плавучая солнечная электростанция будет построена в Великобритании в графстве Большой Манчестер, в пригороде Годли г. Хайд. 12 тысяч солнечных панелей покроют площадь в 45500 м², что составляет около 75% площади водохранилища Годли. Ожидается, что ежегодно электростанция будет вырабатывать около 2.7 ГВт-часов солнечного электричества.

Производители обещают, что в регионе строительства экология затронута не будет, так как, когда солнечные панели устанавливаются на плавучей платформе, проблема нагревания в значительной степени уменьшается.

В настоящее время в Республике Беларусь так же уже используется солнечная энергетика.

Например, солнечная электростанция в Сморгони (Гродненская область).

Электростанция с общей суммарной мощностью до 17 МВт. Для размещения большого количества солнечных батарей определен участок неиспользуемой земли в 36,8 га в промышленной зоне на восточной окраине города Сморгонь. Уже завершили первую очередь строительства и обеспечили получение 5 МВт энергии. Вторая очередь (еще 6 МВт) должна быть введена в эксплуатацию в декабре 2016 года. Завершить проект и разместить батареи мощностью еще в 6 МВт планируется к июлю 2018 года. Но время не стоит на месте, и мы можем также рассмотреть вариант о строительстве у нас плавучей солнечной электростанции, так как Республика Беларусь также обладает значительными площадями водоемов.

Площади наших озер в несколько раз превышают площади тех, на которых уже построили станции в других странах и можно заметить, что наш климат схож с климатом Великобритании (в Великобритании 1476 часов в году наблюдается солнечные дни, в Республике Беларусь – 1800).

Таким образом, можно сделать вывод о возможности рассмотрения вопросов строительства плавучих солнечных электростанций в Республике Беларусь.

Развитие энергетики оказывает воздействие на различные компоненты природной среды: на атмосферу, на гидросферу, на литосферу. В настоящее время это воздействие приобретает глобальный характер, затрагивая все структурные компоненты нашей планеты. Выходом для общества из этой ситуации должны стать: внедрение новых технологий, распространение альтернативной энергетики и использование возобновляемых источников энергии.

Поддерживая эти идеи сейчас мы даем шанс будущему поколению на экономическую и энергетическую независимость.

УДК 620.92

РЕТЕ ТЕХНОЛОГИЯ – НОВЫЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Швед И.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Устройство нового типа, использующее одновременно энергию света и тепловую энергию, обещает новые возможности в преобразовании энергии Солнца в электричество.

Принцип действия нового прибора основан на физических явлениях, открытых учеными Стэнфорда. В прототипе нового преобразователя солнечный свет возбуждает электроны в специальном электроде, а избыточное тепло перебрасывает эти электроны на другой электрод в вакууме, создавая электрический ток. По задумке ученых, неиспользованная тепловая энергия будет использована для нагрева теплоносителя парового двигателя. Такая конструкция позволит преобразовывать рекордные 50% энергии солнечного света в электричество. На сегодня, теоретический предел КПД фотоэлектрических элементов составляет около 29%

Обычные же солнечные батареи из кристаллического кремния эффективны лишь на 15%. Большая часть всей солнечной энергии теряется в виде тепла. Это происходит потому, что такая солнечная ячейка использует лишь часть светового спектра, фотоны же ниже определенного энергетического уровня просто разогревают пластину.

Группа ученых под руководством Николаса Мелоша создала катод из полупроводникового материала, который мог использовать как световую, так и тепловую энергию для преобразования. Когда свет попадал на катод, он начинал работать как обычный фотоэлектрический элемент из кристаллического кремния. Далее не требовалось большого количества тепла, чтобы перевозбужденные электроны начинали перепрыгивать на анод. Таким образом, новая система позволяла эффективно работать при более низких температурах, чем в классическом теплоэлектронном преобразователе, но при более высоких температурах, чем обычная фотоэлектрическая пластина.

Ученые назвали новый механизм РЕТЕ - photon-enhanced thermionic emission, или теплоэлектронный преобразователь, улучшенный фотонами.

Использование нитрида галлия в качестве полупроводникового катода, позволило получить впечатляющий коэффициент полезного действия около 25% при температуре 200 С, температуре, при которой обычный фотоэлектрический элемент вообще перестает работать, в новом преобразователе КПД продолжал расти с увеличением температуры.

Ученые назвали новый механизм РЕТЕ - photon-enhanced thermionic emission, или теплоэлектронный преобразователь, улучшенный фотонами.

Не смотря на высокий КПД, фотонный теплоэлектронный преобразователь будет выделять больше тепла, чем он сможет использовать, поэтому предлагается использовать избыточное тепло для генерирования электричества с помощью паровой машины, поднимая совокупный КПД системы до 50%.

Отличие солнечной панели технологии РЕТЕ от других типов солнечных батарей

В отличие от обычных фотоэлектрических солнечных батарей, эффективность которых снижается при повышении температуры, новая технология, наоборот, обеспечивает максимальную отдачу при нагревании солнечными лучами и производит энергии в три раза больше. КПД технологии РЕТЕ может достигать 60%, в то время как доступные сегодня солнечные батареи имеют КПД всего 13-22%.

Лучше всего PETE-батареи будут работать с параболическими концентраторами (рисунок 1), температура панели которых может подниматься до 800°C. Такие концентраторы используются на больших солнечных электростанциях, например, в пустыне Мохаве в Южной Калифорнии. Это делает внедрение новой технологии еще более дешевой.



Рисунок 1 - Параболические концентраторы

Команда Мелоша покрыла часть полупроводникового материала тонким слоем металлического цезия, в результате чего материал стал способен использовать для выработки электроэнергии и свет, и тепло. Особенность новой солнечной батареи в том, что, чем выше температура, тем больше производится электричества.

Это очень полезное свойство, когда речь идет, например, о космических аппаратах, которые питаются солнечной энергией - их поверхность может нагреваться до сотен градусов. Большинство кремниевых солнечных батарей перестают работать уже при 100°C, PETE не утрачивает максимальной эффективности и при температуре более 200°C.

Литература

1. New solar energy conversion process discovered by Stanford engineers could revamp solar power production [Электронный ресурс]/ Научные исследования. - Режим доступа: <http://news.stanford.edu/news/2010/august/new-solar-method-080210.html>- Дата доступа: 24.04.2016.
2. PETE process promises successful technology fusion [Электронный ресурс] / Экономике мира. – Режим доступа: <http://www.alternative-energy-news.info/pete-process-technology-fusion/>. – Дата доступа: 26.04.2016.

УДК. 697.34

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРУБЫ

Османов К.О.

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

Невозможно переоценить значение теплоизоляции. Одной из наиболее важных ее функций является повышение энергоэффективности. Правильная изоляция труб также необходима для продления срока эксплуатации и безопасности для окружающей среды. Изоляционный слой защищает стальные трубы от коррозии. В некоторых странах прокладка неизолированных труб вообще запрещена, так как отсутствие теплоизоляции (либо некачественная теплоизоляция) приводит к большим потерям тепла – понижению температуры теплоносителя на десятки градусов.

Основными требованиями к материалам, используемым для теплоизоляции труб, являются:

- низкий коэффициент теплопроводности;
- широкий температурный диапазон использования (устойчивость к резким температурным перепадам);
- паропроницаемость;
- воздухопроницаемость
- устойчивость к вибрации и др. механическим воздействиям.

В зависимости от используемого материала, трубы изолируются тремя основными способами:

- нанесение теплоизоляционного слоя на смонтированные трубы (напыление ППУ);
- монтаж теплоизоляционных скорлуп (минвата, ППУ и др.);
- предизоляция труб.

Предизоляция труб по принципу «труба в трубе» в основном осуществляется с использованием пенополиуретана. Российский и зарубежный опыт доказал высокую эффективность использования предварительной изоляции с помощью ППУ.

Преимущества труб с изоляцией из пенополиуретана по сравнению с традиционными трубами:

- легкость и быстрота монтажа;
- долгий срок эксплуатации (30 лет в среднем);
- сокращение затрат на прокладку теплотрасс;
- сокращение расходов на обслуживание теплотрасс.

Преимущества применения данного материала являются такие качества, как низкая теплопроводность и малое влагопоглощение. Пенополиуретаном обрабатываются как металлические, так и полимерные трубы. Технология изоляции труб ППУ заключается в следующем: трубы тщательно очищаются и высушиваются. Затем, при необходимости (в случае если это металлическая труба), на трубу наносится антикоррозийное покрытие. ППУ заливается в межтрубное пространство – полость между трубой и защитной оболочкой, выполненной из полиэтилена.

Однако, в случае если температура транспортируемой среды превышает допустимую для ППУ, то возможна предварительная изоляция труб минватой. Трубы с изоляцией из минваты, покрытые оцинкованной гидрозащитной оболочкой выдерживают температуру теплоносителя до +250 градусов Цельсия.

Эффективной является технология предварительной изоляции труб с использованием ППМ - пенополимерминеральной изоляции. Изоляция ППМ изготавливается с добавлением кварцевого песка (либо других минеральных наполнителей). Основным достоинством ППМ изоляции является хорошая паропроницаемость. Пенополиминеральная изоляция не требует

нанесения на металлическую трубу антикоррозийного слоя, а также внешней защитной полиэтиленовой оболочки.

Однако, как показал опыт, методу предварительной изоляции ППУ трудно найти альтернативу. Высокая стоимость использования полимеров для предизоляции труб не может рассматриваться как недостаток, т.к. увеличивает срок эксплуатации на десятки лет, и нет необходимости в регулярной профилактике и ремонте на протяжении всего срока эксплуатации. Легкость при изготовлении и транспортировке – безусловное преимущество этого способа теплоизоляции. Обязательным требованием при эксплуатации предизолированных труб это – постоянный контроль над процессом увлажнения, для которого необходима установка электронной системы контроля.

Предварительная изоляция труб пенополиуретаном предусматривает еще он эффективный метод. Это – метод безоболочной ППУ изоляции. Технология заключается в следующем: ППУ заливается в межтрубное пространство с использованием специальных съемных форм. Данный метод позволяет не использовать внешний защитный слой. Безоболочная ППУ изоляция покрывается не полиэтиленовым, а «интегральным» слоем уплотненного ППУ. Преимуществом «интегрального» слоя в сравнении с полиэтиленовым слоем является его паропроницаемость.

Монолитная конструкция «труба в трубе» отличается от других систем высоким качеством и надежностью. С экономической точки зрения, дополнительные расходы на предварительную изоляцию полностью оправдывает многократное продление срока эксплуатации труб.

Литература

1. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию. /Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина, - М.: Энергоиздат, 1988. – 376 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. –М.: Энергоиздат, 1982. –360 с.

УДК 519.876.5

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ZULU

Карасёва А.В., Кацубо В.В., Скицунова И.А.
Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

ГИС Zulu — геоинформационная система и программа для расчётов инженерных сетей. Она позволяет создавать расчётные модели городских сетей тепло-, водо-, и газоснабжения и выполнять гидравлические и теплогидравлические расчёты сетей для режимной наладки систем централизованного теплоснабжения.

ГИС Zulu по внешнему виду весьма похожа на широко распространённые продукты семейства Microsoft Office и имеет схожее оборудование меню и панелей инструментов. Система позволяет открывать одновременно несколько карт, работать с информацией, получаемой как из локальных таблиц, так и из баз данных Microsoft Access, Microsoft SQL Server, Oracle и других. Система также позволяет проводить совместный анализ графических и семантических данных, пересекать запросы к семантическим данным с подмножеством графических данных, выполнять тематическую раскраску по семантическим данным, экспортировать графические и табличные данные в распространённые форматы ГИС, Автокад, Microsoft Excel.

Рассчитанная на машины от Pentium 100 и изначально предъявляющая невысокие требования к ПК, система сочетает современный уровень возможностей с быстротой их исполнения.

Наряду с обычным для ГИС разделением объектов на контуры, ломаные, поли-контуры, поли-ломаные, Zulu поддерживает линейно-узловую топологию, что позволяет вместе с прочими пространственными данными (улицы, дома, реки, районы, озера) моделировать и инженерные сети. Система позволяет создавать классифицируемые объекты, имеющие несколько режимов, каждое из которых имеет свой стиль отображения.

Ввод сетей производится с автоматическим кодированием топологии. Нарисованная на экране сеть сразу становится готовой для топологического анализа. Это исключает длительный и трудоемкий этап занесения информации о связях между объектами.

Для разработки ГИС приложений, не связанных с оболочкой Zulu, создан и постоянно развивается с учетом пожеланий пользователей набор ActiveX компонентов - ZuluXTools (ранее называвшийся Zulu ActiveX Control Module), который предназначен для создания ГИС приложений и автоматизированных рабочих мест в среде разработки пользователя. ZuluXTools обеспечивает внедрение в создаваемое приложение компонента «Карта», предоставляет набор OLE методов и свойств для доступа к графическим объектам, их редактирования, их связи с семантическими базами данных.

Разновидности программы: ZuluThermo — гидравлические расчеты тепловых сетей для режимной наладки систем централизованного теплоснабжения; ZuluHydro — гидравлические расчеты систем водоснабжения; ZuluGaz — гидравлические расчеты газовых сетей; ознакомительная версия ГИС Zulu и модулей расчетов инженерных сетей; электронная модель системы теплоснабжения — инструмент учёта, наладки и модернизации тепловых сетей.

ZuluThermo — гидравлические расчеты тепловых сетей для режимной наладки систем централизованного теплоснабжения. Расчеты ZuluThermo работают в тесной интеграции с геоинформационной системой Zulu и выполнены в виде модуля расширения ГИС.

Сеть заносится в ГИС с помощью мышки или по координатам. При этом сразу формируется расчетная модель. Остается задать расчетные параметры объектов и нажать кнопку выполнения расчета. Расчету подлежат тупиковые и кольцевые тепловые сети, в том числе с повысительными насосными станциями и дросселирующими устройствами, работающие от одного или нескольких источников. Расчет систем теплоснабжения может

производиться с учетом утечек из тепловой сети и систем теплоснабжения, а также тепловых потерь в трубопроводах тепловой сети.

В состав расчетов входят коммутационные задачи, поверочный расчет водопроводной (кольцевой) сети, конструкторский расчет водопроводной сети, «Гидроудар» - расчет переходных процессов, построение пьезометрического графика.

Гидроудар – расчет нестационарных процессов в сложных трубопроводных гидросистемах в ZuluHygro. Цель расчета – выявления участков и узлов сети, подвергающихся за время переходного процесса воздействию недопустимо высокого или низкого давления. В качестве событий, порождающих переходные процессы, предполагается включение или выключение насосов либо открытие или закрытие задвижек, а также разрыв трубы.

ZuluDrain - гидравлические расчеты канализационных сетей. Пакет ZuluDrain позволяет создать расчетную математическую модель сети, выполнить паспортизацию сети, и на основе созданной модели решать информационные задачи, задачи топологического анализа, и выполнять различные гидравлические расчеты. Расчеты ZuluDrain могут работать как в тесной интеграции с геоинформационной системой (в виде модуля расширения ГИС), так и в виде отдельной библиотеки компонентов, которые позволяют выполнять расчеты из приложений пользователей. Разработанное программное обеспечение предоставляет пользователю возможность исследовать свойства или поведение системы водоотведения в условиях, которые нецелесообразно или невозможно воспроизвести на практике, а также моделировать разного рода возмущения с целью оценки их влияния на режим работы канализационной сети. Количество объектов канализационной сети не ограничено.

ZuluGaz — гидравлические расчеты газовых сетей. В состав расчетных задач входят: поверочный расчет газовой сети низкого давления, поверочный расчет газовой сети среднего или высокого давления, построение графика падения давления в газовой сети, коммутационные задачи.

Созданная математическая имитационная модель системы газоснабжения, служащая для решения поверочной задачи, позволяет анализировать гидравлический режим работы системы, а также прогнозировать его изменения в случае каких-либо переключений. Расчеты могут проводиться при различных исходных данных, в том числе при отключении отдельных участков газовой сети.

Литература

1. ГИС Zulu [Электронный ресурс]. / Геоинформационная система Zulu – официальный сайт компании Политерм. Режим доступа: <http://www.politerm.com.ru/zulu/>, свободный.
2. Сетевая модель в ГИС и инженерные сети [Электронный ресурс]. / Вики GIS-Lab. Режим доступа: http://wiki.gislab.info/w/Сетевая_модель_в_ГИС_и_инженерные_сети, свободный.

УДК 519.876.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MAGIC CAD В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Северин В. Ф., Соколовская К. С., Сидорчук А. А.
Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

MagiCAD – программа для трехмерного проектирования и выполнения необходимых расчетов внутренних инженерных систем – вентиляции и кондиционирования, отопления, сантехники и электрических систем. Программа занимает лидирующие позиции на рынке программ для проектирования сетей ОВ/ВК.

Программа содержит следующие модули: Вентиляция, Трубопроводы, Спринклерные сети, Технологические схемы, Помещение, Комфорт и Энергия, Электроснабжение, Электрические цепи.

MagiCAD Трубопроводы - решение для проектирования систем внутренних инженерных коммуникаций: отопления, водоснабжения и водоотведения, тепло- и холодоснабжения.

Модуль «Трубопроводы» предназначен для проектирования и расчета систем отопления, тепло- и холодоснабжения, водоснабжения, канализации, спринклерных и других систем. В работе используются одни и те же команды независимо от того, какую систему вы проектируете.

MagiCAD Трубопроводы объединяет в себе удобный чертежный инструмент и мощное расчетное ядро. Содержит более 100000 единиц оборудования ведущих европейских производителей – с теплотехническими, гидравлическими и акустическими характеристиками.

MagiCAD Трубопроводы позволяет чертить для двухтрубной системы отопления или для системы водоснабжения несколько трубопроводов одновременно, что существенно экономит время.

Основные функциональные возможности:

- устанавливается на Autodesk AutoCAD и Revit MEP;
- простые интуитивно понятные инструменты проектирования и редактирования трубопроводных систем;
- проектирование одно-, двух- и трехтрубных систем отопления;
- автоматический подбор диаметров трубопроводов;
- гидравлический расчет систем;
- подбор диаметров труб систем водоснабжения с учетом неравномерности потребления воды;
- балансировка систем отопления и холодоснабжения с помощью радиаторных и балансировочных клапанов;
- расчет объема теплоносителя в системе;
- подбор и расстановка радиаторов, подключение радиаторов к этажной разводке;
- возможность посмотреть параметры в любой точке сети (расход на участке, потери давления, тип запорной и регулирующей арматуры и т.д.);
- автоматическое или ручное надписывание элементов систем;

- автоматическое создание спецификаций материалов и оборудования;
- легкое и быстрое создание и редактирование поперечных разрезов;
- контроль пересечений элементов систем между собой и со строительными конструкциями;
- быстрое переключение между 2D и 3D режимами;
- возможность настраивать графическое отображения объектов для каждого видового экрана;
- передача данных в другие программы через формат IFC либо напрямую, с помощью плагинов.

MagiCAD Спринклеры - комплексное решение для проектирования и расчета спринклерных систем: можно чертить и редактировать трубопроводы, устанавливать оборудование, определять зоны покрытия и рабочие зоны форсунок и т.д.

MagiCAD Вентиляция - мощный инструмент для проектирования систем вентиляции здания. При черчении воздуховодов автоматически подбираются и устанавливаются необходимые фасонные части. При изменении направления воздуховода программа подберет и установит отвод. При присоединении одного воздуховода к другому – тройник или крестовину. При изменении диаметра воздуховода создается переходник.

MagiCAD Электроснабжение - инструмент для быстрого и эффективного проектирования электрических, слаботочных сетей и освещения.

MagiCAD Схематика - решение для создания чертежей электрических цепей различной сложности.

MagiCAD Помещение позволит создавать трехмерную модель здания, основанную на реальной геометрии и технических характеристиках здания и служащей основой для расчетов и анализа.

MagiCAD Комфорт и Энергия - новое, экономящее время комплексное решение, которое позволяет уже на ранних этапах работы быстро и точно смоделировать, и оценить климатические и энергетические параметры здания.

Литература

1. Все о САПР и ГИС. Комплексная автоматизация проектно-конструкторских и технологических работ [Электронный ресурс]. /Русская Промышленная Компания. Режим доступа: <http://www.cad.ru>, свободный.

2. Cadmaster [Электронный ресурс]. /Журнал для профессионалов в области САПР. Режим доступа: <http://www.cadmaster.ru/>, свободный.

УДК 519.876.5

РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСЕТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

Егощенко И. Н., Лешкевич В. С., Петрашкевич А. С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А., аспирант Матявина А.А.

Разрабатываемая SCADA-система представляет собой комплекс аппаратного и программного обеспечения для реализации функций сбора и обработки информации по контролируемой энергосистеме, функций контроля и управления, а также функций, связанных с общим информационным обеспечением. SCADA полагается компьютерной системой, имеющей критические по ответственности задачи. В связи с этим система должна обеспечивать высокую производительность, в особенности в базовых узлах энергосистемы. Кроме того, при построении архитектуры системы, где необходимо, должен учитываться принцип полной аппаратной избыточности, с целью повышения общей отказоустойчивости комплекса. Редактор базы данных реального времени должен давать возможность добавлять, редактировать и удалять телемеханические присоединения и удаленные телемеханические устройства (УТУ). Должно быть реализовано динамическое изменение базы данных без необходимости регенерации системы. Все экранные формы, обеспечивающие общение пользователя с редактором, как и другими программами, упоминаемыми в проекте, должны создаваться в форме русского разговорного диалога. На первом этапе следует сформулировать минимальный набор параметров и определений базы данных системы, которые должны редактироваться пользователем:

- определение всех УТУ, подсоединенных к системе, включая имя, коммуникационный порт, конфигурацию и все коммуникационные параметры;
- определение всех статусных точек, подсоединенных к УТУ, включая 24-знаковое описание, статусные состояния, ненормальное состояние и все параметры, определенные где угодно в данном задании;
- определение всех телеметрических и аккумулирующих присоединений, назначенных для УТУ, включая 24-знаковое описание, факторы масштаба, пределы и все параметры, определенные где угодно в данном задании;
- определение всех контролируемых точек, подсоединенных к УТУ, включая 24-знаковое описание, статусные состояния, ненормальное состояние и все параметры, определенные где угодно в данном задании;
- определение всех псевдо присоединений, назначенных системе: статусных, телеметрических, управляемых, и т.д., включая описанные выше объекты 1-4. Псевдо присоединениями являются все объекты базы данных, не имеющие связи с реальным объектом телемеханики, и задаваемые либо ручным вводом информации, либо по результатам расчета;
- задание расписаний для ведения ведомостей событий, генерации отчетов, сброса счетчиков, запуска приложений.

Следующие параметры должны быть редактируемыми для всех присоединений - статусных, аккумуляторных, вычисленных или управляемых:

- определение областей ответственности. Причем, несколько областей ответственности могут назначаться для каждого присоединения;
- определение запрета на либо нормально-ненормальное, либо ненормально-нормальное изменение статусного состояния;
- назначение системы защиты и паролей - только для операций управления;
- начальное значение базы данных для "холодного перезапуска" системы.

Редактор базы данных SCADA-системы должен позволять задавать текущую конфигурацию УТУ, их физическое подключение к системе и необходимые параметры для обмена со всеми УТУ.

Однолинейные схемы подстанций - эти экраны отображают главную часть подсистемы человеко-машинного интерфейса, к которым оператор будет наиболее часто обращаться. Эти схемы будут назначаться по зонам ответственности. Пользователь при разработке таких экранов не должен быть ограничен отображением только данных по отображаемой подстанции. Возможно отображение любых данных любой части системы.

Экраны статуса станций - автоматически создаются системой. Эти экраны табличные по форме и будут отображать текущее состояние всех контролируемых на станции устройств.

Экраны энергосистемы - должно быть создано средство для создания однолинейных диаграмм энергосистемы, для отображения информации, собираемой и вычисляемой по всей сети. Эти экраны будут отображаться как однолинейные диаграммы.

Экран общего состояния сети - отображает общее состояние оборудования. Здесь будут фиксироваться неисправности оборудования системы, переключения оконечных устройств, вывод оборудования из работы, выполненный диспетчером.

Экран списка событий нарушения - система должна включать в себя сводку по несквирированным сигналам, которая представляет собой список всех событий тревоги в хронологическом порядке, как они были получены, которые еще не подтверждены оператором. Когда оператор распознал и сквирировал сигнал, он будет автоматически удален из списка событий нарушения.

Экран статистики по телекоммуникационному оборудованию - выдает сводную статистику по коммуникационному оборудованию, включая число и скорость возникновения ошибок, определенную препроцессором коммуникаций и переданную на ведущую машину.

Информационные экраны - должны представлять данные, нормально доступные оператору через другие источники - рабочие документы, справочники и т.д. В системе должны быть реализованы средства иерархического построения подобной информации, а также поиска требуемых данных по запросу.

Должны быть реализованы следующие виды проектирования режима:

- оперативное. Срок - на данный момент. Должно выполняться в случае внезапного значительного изменения режима сети, например, при возникновении аварии для оптимизации послеаварийного режима. Предполагается использовать текущие оперативные данные о нагрузке сети.

- текущее и краткосрочное. Срок - от одного часа до семи суток. Должно выполняться для текущей проработки режима, например, при проработке местных заявок и заявок ЦДС на текущие или последующие сутки. Предполагается использовать краткосрочный прогноз нагрузки сети.

- долгосрочное. Срок - от семи суток до трех месяцев. Должно выполняться для долгосрочного планирования и (или) прогнозирования режима, например, при изменении состава оборудования сети. Здесь возможно решение задач сезонного характера. Предполагается использовать краткосрочный прогноз нагрузки сети, текущую 30-тидневную ретроспективу и архив ретроспективы.

- сезонное. Срок - от трех до девяти месяцев. Должно выполняться при подготовке к переводу сети в осенне-зимний или весенне-летний режим работы. Здесь особое значение имеет решение задач сезонного характера, например, оптимальное размыкание контуров в распределительных сетях 6, 10, 35 кВ и оптимальное регулирование устройств ПБВ на трансформаторах. Предполагается использовать текущую 30-тидневную ретроспективу и архив ретроспективы.

Генератор отчетов дает возможность пользователю разрабатывать свои собственные форматы отчетов. Для создаваемых отчетов должна быть реализована возможность автоматической их генерации по расписанию, а также возможность манипуляции и расчетов по любым данным на момент генерации отчета.

Создаваемая SCADA-система включает гибкий, настраиваемый пакет программ управления потреблением, который даст возможность диспетчеру оперативно

контролировать и управлять сетью в условиях максимумов энергопотребления, согласно существующим графикам отключений.

Программное обеспечение будет также позволять проводить общее регулирование напряжения в управляемой энергосети по данным, полученным программой оптимизации режима сети, основывающейся на расчете установившегося режима.

Возможные области применения пакета прогнозирования загрузки: проектирование режимов сети, управление загрузкой сети, сглаживание пиковых нагрузок, общее управление ресурсами, построение программы межсетевых перетоков.

УДК 004.42

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «МОДЭН»

Музыкантова К.С., Самончик К.В.

Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

Программа МОДЭН представляет собой уникальную программу имитационного моделирования, с помощью которой можно моделировать и рассчитывать различные энергетические системы, процессы и их динамику. Так, программа позволяет моделировать энергетические системы — от систем крупных предприятий до тепло-влажностных процессов, протекающих в ограждающих конструкциях зданий. Кроме того, программа позволяет моделировать гидравлические и тепловые процессы в системах теплоснабжения и отопления, в том числе и кольцевые сети с построением пьезометрических графиков. Очень простым представляется моделирование работы систем автоматизации. Можно осуществлять трехмерное моделирование температурных полей в ограждающих конструкциях зданий. А еще программа удобна для выполнения энергетических аудитов.

На предприятиях со сменным режимом работы экономически целесообразно внедрять автоматизацию систем отопления по внутренней температуре. Расчет экономии тепловой энергии при автоматизации достаточно сложен. Он связан с необходимостью расчета нестационарных теплообменных процессов в помещении. С помощью программы МОДЭН эта задача становится достаточно простой и может быть решена на стадии проектирования. Рассчитывает программа и снижение потребления тепловой энергии, связанное со снижением температуры внутреннего воздуха. Программа МОДЭН позволяет моделировать системы вентиляции кондиционирования воздуха. Расчет и представление значений параметров систем вентиляции и кондиционирования воздуха в динамических режимах работы — основное достоинство программы. В любой момент времени можно видеть, как ведут себя температура, влажность, расход в различных узлах системы, оценить их взаимное влияние. Для этого нет необходимости вести построения процессов на одномерных диаграммах. Математическое описание всех параметров введено в уже разработанные шаблоны.

Обычно задача проектирования теплоснабжения разбивается на ряд задач (разделов проекта): отопление (внутренняя задача), тепловые сети (наружная задача) и индивидуальный тепловой пункт (место стыковки наружной тепловой сети и системы отопления и автоматизации системы отопления). Понятно, что такая разбивка связана в первую очередь с невозможностью их совместного решения из-за сложности. Тем не менее, программа МОДЭН позволяет решать все эти задачи совместно, во взаимосвязи друг с другом.

Рассматривая задачи теплообмена внутри помещения, необходимо описывать теплообмен в строительных конструкциях, окружающих помещение. Программа МОДЭН предоставляет пользователю возможность расчета нестационарного теплопереноса в одно-, двух- и трехмерных конструкциях. В процессе эксплуатации отдельные слои строительных конструкций могут переувлажняться, при этом значение влажности оказывается выше сорбционной. Поэтому задача выявления истинного поведения конструкций в процессе эксплуатации до настоящего времени являлась трудноразрешимой. Лишь с применением программы МОДЭН появилась возможность легко решать ее.

Программа МОДЭН позволяет рассчитывать поступления солнечной радиации в нестационарном режиме для горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей в любой момент года. Это позволяет оценивать вклад солнечной радиации, например, при расчетах влажностного режима конструкций, кондиционирования воздуха или проектирования солнечного теплоснабжения.

Моделирование работы теплового насоса вместе с грунтовым теплообменником также может быть выполнено с помощью программы МОДЭН. На основании многочисленных

компьютерных экспериментов и сравнения полученных данных с известными зарубежными методиками, а также с учетом опыта устройства теплонасосной установки с грунтовыми теплообменниками на водозаборе Мухавецкий (Брест), в ОДО "Энерговент" были подготовлены рекомендации по проектированию таких систем.

Что же касается энергетического аудита, то он выполняется в несколько стадий. На первых стадиях осуществляется моделирование энергетических систем на компьютере в программе МОДЭН. На последующих стадиях осуществляется работа с моделью энергетической системы. При моделировании имеют значение коэффициенты неравномерности работы оборудования. Полученная на компьютере модель должна адекватно соответствовать реальной системе. Для этого в программе есть специальный пункт меню, в котором можно выполнить такую проверку.

Составление отчетов в программе автоматизировано. Пользователь выбирает вид отчета, а далее лишь отбирает из модели те значения параметров, которые попадают в отчет. Пользователю необходимо расставить признаки, чтобы автоматизировать их составление. В качестве периода расчета модели выбирают 1 год (если другой период не оговорен особо). Это необходимо для того, чтобы рассчитать нормы расхода ТЭР на различные периоды года.

При проведении полного энергетического аудита предприятия необходимо представление энергетической системы на компьютере и в дальнейшем выполнение анализа именно компьютерной модели энергетической системы. На современном этапе энергетический аудит можно проводить лишь в рамках имитационного моделирования. Необходимо утвердить банк компьютерных программ, которые можно применять при проведении аудитов.

Программа МОДЭН позволяет с достаточной полнотой моделировать адекватную реальную энергетическую систему предприятия, анализировать модель и ее трансформации, получать необходимые отчеты, в том числе рекомендованные существующими в Беларуси положениями.

Программа МОДЭН отличается от имеющихся программ по некоторым базовым принципам:

- расчет систем производится в нестационарном режиме, с учетом аккумулирующих свойств объектов. В EnergyPlus, на наш взгляд, используется для описания таких систем стационарный подход, хотя внешние параметры могут меняться во времени, но на каждом шаге счета решение получается стационарным;
- пользователь имеет возможность не только применять готовые расчетные алгоритмы, но и их просматривать, редактировать и создавать новые. Это позволяет разработчикам новых методов расчета конкретных систем легко стыковать их с остальными расчетами;
- пользователь имеет возможность создавать готовые шаблоны, со своими структурами и методами расчета (перечень готовых шаблонов см. в приложении 1). Таким образом, пользователи программы становятся, как бы членами одной команды, в которой каждый стремится создать что-то новое для улучшения конечного продукта другого члена команды. Подобная тенденция, на наш взгляд, существует среди пользователей AutoCad. Моделирование систем и процессов с использованием программного обеспечения МОДЭН

Литература

1. Лаборатория имитационного моделирования [Электронный ресурс] /Модэн – Режим доступа: <http://energovent.com>. – Дата доступа: 15.05.2016.
2. Строительство и недвижимость [Электронный ресурс] /Редакции/ Моделирование систем и процессов с использованием программного обеспечения МОДЭН – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by>. – Дата доступа: 15.05.2016.

УДК 662.747

ИСТОРИЯ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Газификация – высокотемпературный процесс взаимодействия углерода топлива с окислителями, проводимый с целью получения горючих газов (H_2 , CO , CH_4). В качестве окислителей, которые называют газифицирующими агентами, используют кислород (воздух), водяной пар, диоксид углерода. В зависимости от соотношения исходных реагентов, температуры, продолжительности реакции и других факторов можно получать газовые смеси разного состава.

Первым способом получения синтез-газа из твердого топлива была газификация каменного угля, которая была осуществлена в Англии.

1699 - Dean Clayton получил газ в результате экспериментов с пиролизом угля.

1788 - Robert Gardner получил первый патент, связанный с газификацией.

1792 - первое коммерческое использование генераторного газа. Murdoch использовал газ, полученный из угля, для освещения комнаты в своем доме. Начиная с этого момента, газ из угля многие годы использовался для освещения, приготовления пищи и обогрева.

1801 - Lamprodium доказал возможность использования газа, который образуется при производстве древесного угля.

1812 - первый завод по производству газа из угля для освещения Лондона.

1840 - во Франции изготовлен первый коммерческий газогенератор.

1861 - прорыв в технологии газификации связан с разработкой газогенератора Сименса (Siemens).

1878 - газогенераторы успешно использовались с двигателями для получения механической энергии.

1900 - первый газогенератор мощностью 600 л.с. выставлен на Всемирной выставке в Париже. После этого были разработаны газогенераторы мощностью до 5400 л.с.

1901 - J.W. Parker испытал пассажирское движущееся средство с двигателем на генераторном газе.

В течение 1901-1920 были проданы многие установки газогенератор-двигатель для получения механической и электрической энергии.

Значительный толчок в развитии газификации произошел в 1926г., когда Германия, лишенная доступа к нефтяным источникам и располагавшая значительными запасами ископаемого угля, была вынуждена искать пути его превращения в жидкое топливо. Эта проблема была решена путем синтеза углеводородов из монооксида углерода и водорода, который называется с тех пор синтезом Фишера - Тропша по имени ученых, его реализовавших. Смесь CO и H_2 в различных соотношениях, называемая синтез-газом, может быть получена как из угля, так и из любого другого углеродсодержащего сырья.

Нацистская Германия принимает и реализует план перевода существующих автомобилей, в первую очередь военных грузовиков, на генераторный газ из древесины и угля, чтобы получить независимость от импортной нефти.

1939 - около 25000 автомобилей с газогенераторами зарегистрированы в Швеции. Из них 90% были получены путем перевода на газ существующих автомобилей. Почти все из 20000 тракторов работают на генераторном газе. 40 % топлива газогенераторов - древесина, остальное - древесный уголь.

В 30-е годы начинается по указанию Сталина разработка газогенераторных установок в СССР работающих на соломе.

40-е-50-е годы, в СССР массово выпускаются тракторы и грузовики ЗИС-150М, грузоподъемностью 3,5 т. При этом вес газогенераторной установки на указанном грузовике

составлял 460 кг, а расход каменного угля - 66 кг на 100 км пути при движении по шоссе со скоростью 55 км/ч.

1951 - тепловозы ТЭ-1...-4. Работали на Донецком антраците. Выпущено около 20 тепловозов, которые 10 лет работали на Приволжской железной дороге. Расход жидкого топлива был на 70% меньше, т.к. дизтопливо расходовалось только на запуск и прогрев.

1960-1970 - в связи со снижением цен на бензин и дизтопливо интерес к газификации падает.

После 1970 - возобновление интереса к газификации. Разработка мощных газогенераторов для газификации угля в зарубежных странах.

До 2000 г., проведена разработка национальных программ по использованию газификации биомассы для выработки электроэнергии в развитых странах Европы, США, Индии. Осуществлена разработка программ по переходу на «чистый уголь», т.е. газификация угля с последующим сжиганием синтез-газа в газовых турбинах большой мощности (сотни МВт).

2000 и до современности - сотни серийных промышленных энергоустановок газификации угля и биомассы работают во всем мире. Осуществлено строительство крупных электростанций с газификацией углей низкой калорийности в США, Голландии, Испании, Италии (мощностью 250-600 МВт). Одной из первых, начавших свою деятельность в области газификации, была компания Chevron Техасо. Первое предприятие по газификации нефти было построено в 1956 г., а по газификации угля - в 1978 г. Всего с 1978 по 2003 гг. было построено 72 предприятия газификации угля, из которых 23 находятся в США, 23 в Европе и 26 в Азии. Только в Китае построено 14 таких предприятий. Самая мощная станция была построена в Южной Корее в 2000 г. - 950 МВт.

Первое предприятие газификации Shell было построено в 1956 в Нидерландах. К 2003г. предприятия Shell насчитывали уже 85 действующих газификаторов: в Азии - 36 реакторов, в Европе - 28, 21 - в Северной и Южной Америке. Согласно планам Shell намечено реализовать еще 9 крупнейших проектов в разных странах, причем 6 из этих предприятий будет работать на углях.

Самым сконцентрированным местом газификации в мире являются три завода в Южной Африке фирмы Sasol, которые составляли в начале 2000 г. более чем 31% общей мировой мощности газификации. По методу Фишера - Тропша эти заводы производят из угля бензин, газойль и парафины, в общей сложности около 5 млн. т. в год жидких углеводородов.

Литература

1. Бекаев, Л.С. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию / Л.С. Бекаев, О.В. Марченко, С.П. Пинегин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 300 с.
2. Зорина Т.И. и др. Современные тенденции развития технологии газификации твердого топлива. /Химия твердого топлива. - 1986.- №3.-с.82-93.
3. Шиллинг Г.-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля / Пер. с нем. и ред. С.Р. Исламова – М: Недра, 1986 – 175 с.
4. <https://alternativenergy.ru/knigi/002/224-gazifikaciya-tverdogo-topliva.html>

УДК 66.01(076)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Прокопенко К.В., Шевандо А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Проектирование теплообменных аппаратов, входящих в теплотехнологическую систему, должно быть подчинено основной задаче – обеспечению их высокой экономической эффективности. Характеристику такой эффективности дает универсальный технико-экономический критерий – минимум приведенных затрат Π , которые учитывают капитальные вложения K на изготовление аппарата и его монтаж, эксплуатационные затраты \mathcal{E} и нормативный срок окупаемости – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений E

$$KO = \min(\Pi) = \min(EK + \mathcal{E}), \text{ руб/год} \quad (1)$$

Скорость теплоносителя в трубах теплообменного аппарата является аргументом, определяющим интенсивность теплообмена, а значит для заданной тепловой нагрузки величину поверхности теплообмена аппарата и, как следствие, габариты, металлоемкость и стоимость его. В то же время от скорости теплоносителя (движущего напора) зависит мощность насоса, то есть расход электроэнергии на его привод, что при неизменных расходах теплоносителей и их стоимости, в основном предопределяет эксплуатационные затраты на теплообменную установку. Выбор оптимального варианта скорости теплоносителя предполагает многовариантные расчеты и поэтому выполняется, как правило, с помощью ПЭВМ, например, программы Excel.

Расчеты выполнены для сетевого подогревателя с тепловой нагрузкой $Q = 3$ МВт (температурный режим воды 110/70 °С, давление пара 0,5 МПа) по следующей методике.

Число труб в одном ходу конденсатора

$$n = \frac{4G_B}{\pi d_{BH}^2 \rho_B w_B}, \quad (2)$$

где G_B – расход сетевой воды, кг/с; ρ_B – плотность воды при средней ее температуре, кг/м³; d_{BH} – внутренний диаметр труб, м (приняты трубы диаметром 20x2 мм); w_B – варьируемая скорость воды в трубах теплообменника, м/с.

Расчеты коэффициентов теплоотдачи от пара к поверхности трубы α_{Π} , от трубы к воде α_B и коэффициента теплопередачи k осуществлялись по классическим методикам теории теплообмена, а поверхность теплообмена аппарата по формуле

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

где Δt_{cp} – средний температурный напор в конденсаторе, °С.

Общее гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата по трубному пространству

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda_{тр} L}{d_{BH}} + \sum \xi \right) \Delta P_D, \text{ Па}, \quad (4)$$

где L - длина труб, $L = \frac{F}{\pi d_{\text{ср}} n z}$, м; $\lambda_{\text{тр}}$ - коэффициент трения стальных труб,

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}; \quad \Delta P_{\text{д}} - \text{динамический напор воды в трубах, } \Delta P_{\text{д}} = \frac{w_{\text{в}}^2 \rho_{\text{в}}}{2}, \text{ Па};$$

$\sum \xi$ - суммарный коэффициент местных сопротивлений, $\sum \xi = (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4) z + \xi_5(z-1)$, где z - число ходов в теплообменном аппарате; ξ - местное сопротивление: ξ_1 - вход воды в камеру, ξ_2 - вход воды в трубы, ξ_3 - выход воды из труб, ξ_4 - выход воды из камеры, ξ_5 - поворот на 180° из хода в ход. Из [1] $\xi_1 = \xi_4 = 1,5$; $\xi_2 = \xi_3 = 1,0$; $\xi_5 = 2,5$.

Мощность насоса, подающего воду в теплообменник,

$$N_{\text{э}} = \frac{G_{\text{в}} \Delta P 10^{-3}}{\rho_{\text{в}} \eta_{\text{н}} \eta_{\text{эд}}}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{н}}$ и $\eta_{\text{эд}}$ - КПД насоса и электродвигателя, приняты $\eta_{\text{н}} = 0,87$ и $\eta_{\text{эд}} = 0,98$.

Годовой расход электроэнергии на перекачку воды

$$\text{Э} = N_{\text{э}} \tau, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}, \quad (6)$$

где τ число часов использования мощности насоса, принято $\tau = 4500$ ч/год.

Начальная стоимость теплообменного аппарата

$$K = \text{Ц}_{\text{Т.А}} \cdot F, \text{ млн. руб.}, \quad (7)$$

где $\text{Ц}_{\text{Т.А}}$ - стоимость 1 м^2 поверхности нагрева теплообменного аппарата, принята в расчетах $\text{Ц}_{\text{Т.А}} = 2$ млн. руб/ м^2 . При расчете условно принято, что капиталовложения по насосной установке остаются постоянными при изменении скорости воды в трубах теплообменника.

Ежегодные эксплуатационные расходы, учитываемые при оптимизационных расчетах

$$S = k_{\text{а}} K + \text{Ц}_{\text{э}} \cdot \text{Э}, \text{ млн. руб/год}, \quad (8)$$

где $k_{\text{а}}$ - доля годовых отчислений на амортизацию и текущий ремонт теплообменника, $k_{\text{а}} = 0,10$; $\text{Ц}_{\text{э}}$ - стоимость электроэнергии, на период проведения исследований $\text{Ц}_{\text{э}} \approx 2500$ руб/(кВт·ч).

Ежегодные приведенные затраты

$$\Pi = E K + S, \text{ млн. руб/год}, \quad (9)$$

где E - нормативный коэффициент эффективности, $E = 0,15$.

По вышеописанной методике проведено аналитическое исследование зависимости годовых отчислений на амортизацию и текущий ремонт аппарата, эксплуатационных расходов и ежегодных приведенных затрат для нескольких значений скорости воды в трубах

теплообменника. На основании результатов расчета построены графики зависимостей $EK = f(w_B)$, $S = f(w_B)$, и $\Pi = f(w_B)$ (рисунок 1) и определена оптимальная скорость воды в аппарате, соответствующая минимуму приведенных затрат, которая для принятых исходных

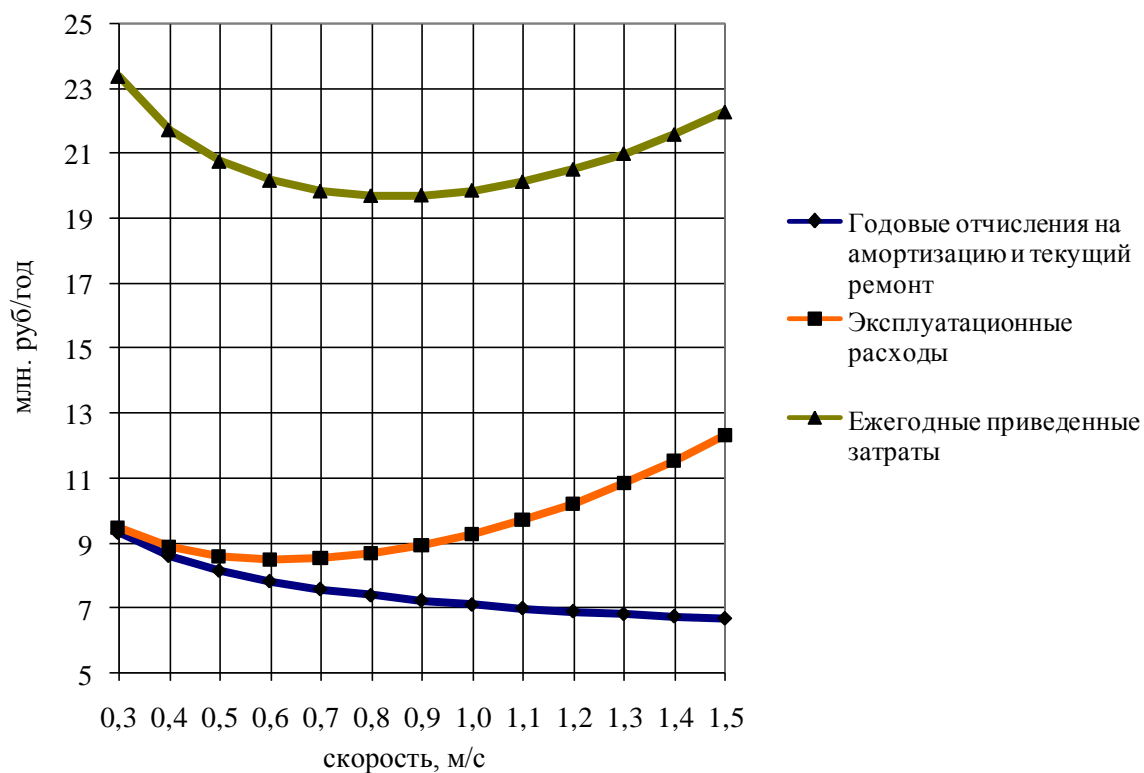


Рисунок 1 - Зависимость ежегодных приведенных затрат от скорости теплоносителя в трубах теплообменного аппарата

данных составила $w_B^{OPT} = 0,8...0,9$ м/с.

Литература

1. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / Ю.И. Дытнерский. – 2-е изд. – М.: Химия, 1995. – 400 с.

УДК 66-93

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕГОНКЕ БИНАРНОЙ СМЕСИ ВЗАИМОРАСТВОРИМЫХ КОМПОНЕНТОВ

Османов К.О., Хатянович П.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Ректификация – это разделение жидкой смеси компонентов с различными летучестями в результате противоточного движения жидкой и паровой фаз, в процессе которого пары смеси, соприкасаясь с несколько более холодной жидкой смесью, имеющей большее содержание летучего компонента, конденсируются; за счет выделяющейся теплоты фазового перехода образуются пары, обогащенные летучим компонентом, которые в свою очередь контактируют с жидкостью, конденсируются, и происходит образование паров с еще большим содержанием летучего и т.д.

Процесс разделения компонентов, различающихся степенью летучести, проводится в ректификационной колонне, являющейся основным аппаратом ректификационной установки (рисунок 1).

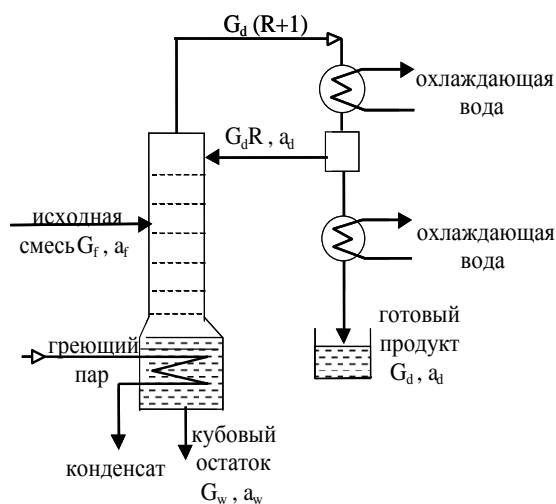


Рисунок 1 - Принципиальная схема ректификационной установки

Для обогащения паров летучим компонентом на верхнюю тарелку колонны непрерывно подается жидкость с высоким содержанием летучего (флегма), полученная в результате частичной конденсации паров, выходящих из колонны. Ее расход определяется флегмовым числом R – количеством флегмы на единицу готового продукта. Минимальное число флегмы R_{\min} определяется достижением равновесия фаз во входном сечении ректификационного аппарата:

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_f^*}{y_f^* - x_f}, \quad (1)$$

где x_d – молярная доля летучего компонента в дистилляте (готовом продукте); x_f – то же в исходной жидкости (питании) колонны; y_f^* – то же в паре, равновесном с жидкостью питания.

Рабочее (действительное) флегмовое число $R > R_{\min}$. От значения R зависят капитальные затраты и эксплуатационные расходы на ректификацию (рисунок 2). Эксплуатационные расходы (линия 1) прямо пропорциональны R и определяются расходом теплоносителя (греющего пара) на испарение жидкости в кубе-испарителе. Капитальные затраты (кривая 2)

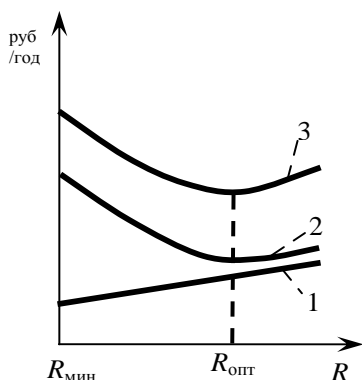


Рисунок 2 - Определение оптимального флегмового числа по минимуму приведенных затрат на ректификацию

в зависимости от R имеют минимум, соответствующий минимальному рабочему объему колонны. Суммарные (приведенные) затраты в зависимости от значения флегмового числа (кривая 3) также будут иметь минимум, который в общем случае не совпадает с минимумом капитальных затрат.

В работе проанализировано поведение величины рабочего объема колонны при изменении флегмового числа и определена величина флегмового числа, соответствующая минимальному объему колонны. За основу выбраны следующие характеристики процесса перегонки: вид бинарной смеси – этанол-вода; производительность установки по исходной смеси $G_f = 1$ т/ч; массовые концентрации летучего компонента в исходной смеси $a_f = 15\%$, готовом продукте $a_d = 90\%$ и кубовом остатке $a_w = 1\%$.

Объем активной, занятой контактными устройствами (тарелками), части колонны

$$V = S \cdot H = S h (n - 1) \tag{2}$$

где S - площадь сечения колонны; H – высота активной части колонны; h – расстояние между тарелками; n - действительное количество тарелок.

С увеличением флегмового числа площадь сечения колонны согласно уравнению неразрывности потока паров (3), поднимающихся по колонне вверх, увеличивается

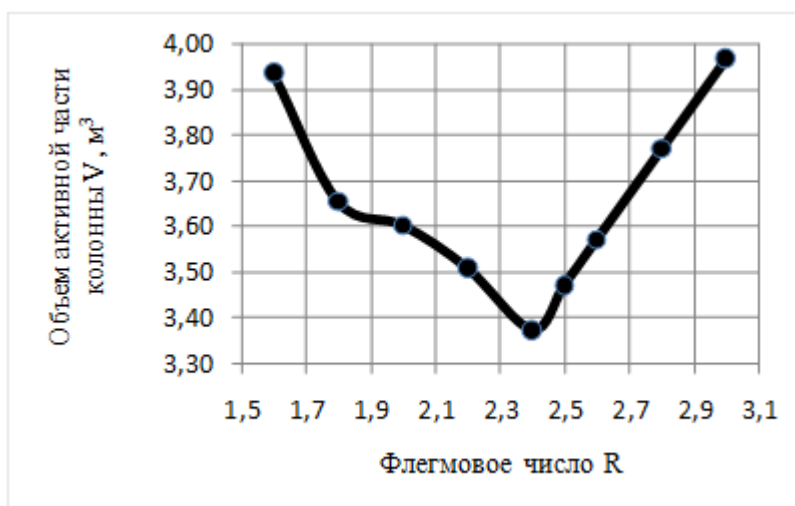
$$S = \frac{G_d(R+1)}{\rho_n w_n}, \tag{3}$$

при этом скорость паров w_n , отнесенная к полному поперечному сечению колонны должна быть оптимальна во всех режимах, т.е. обеспечивать максимальное совершенство процессов тепло- и массообмена на тарелке [1]. В уравнении (3) G_d - массовая производительность установки по готовому продукту; $G_d(R+1)$ - расход паров, движущихся по колонне вверх, считая его одинаковым в любом сечении колонны; ρ_n – плотность паров.

Теоретическое число тарелок n_T в ректификационной колонне для различных значений флегмового числа R определялось традиционным в инженерной практике графоаналитическим методом с помощью диаграммы равновесия смеси, а действительное их число с учетом несовершенства процессов тепло- и массообмена в реальных условиях по формуле $n = n_T / \eta$, где η – КПД тарелки (для всех вариантов принят $\eta = 0,5$). Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты исследований зависимости активного объема колонны для перегонки бинарной смеси этанол – вода от величины рабочего флегмового числа

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Флегмовое число								
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
			1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3
Теоретическое число тарелок	n_T	-	15	13	12	11	10	10	10	10	10
Действительное число тарелок	n	-	30	26	24	22	20	20	20	20	20
Площадь сечения колонны	S	м ²	0,45	0,49	0,52	0,56	0,59	0,61	0,63	0,66	0,70
Объем активной части колонны	V	м ³	3,94	3,66	3,60	3,51	3,37	3,47	3,57	3,77	3,97



Как показали исследования, проведенные по описанной выше методике и представленные в таблице 1 и на рисунке 3 для рассмотренной бинарной смеси взаиморастворимых компонентов, коэффициент избытка флегмы φ (по отношению к минимальному флегмовому числу $R_{\min} = 1,26$), при котором достигается минимальный активный объем колонны $V = 3,37\text{ м}^3$, составляет $\varphi = R/R_{\min} = 2,4/1,26 = 1,9$.

Литература

1. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / Ю.И. Дытнерский. – 2-е изд. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
2. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учебное пособие для вузов / П.Г. Романков [и др.]; под общ. Ред. П.Г. Романкова. - СПб.: Химия, 1993. – 576 с.

УДК 620.9(075.8)

СОЛНЕЧНЫЕ ДОРОГИ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Идея создать Солнечную Дорогу (SolarRoadway) пришла инженерам Джули и Скотту Брюсау, когда весь мир всерьез обеспокоился проблемой глобального потепления. Концепция заключается в том, чтобы заменить асфальт и бетон на дорогах модульными панелями, обладающими функциями солнечных батарей, координаторов движения и прочими полезностями.

Солнечная батарея – несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Конструктивно фотоэлектрический солнечный модуль представляет собой электрически соединенные между собой фотоэлементы, имеющие выходные клеммы для подключения нагрузок. Каждый фотоэлемент содержит в себе 2 полупроводниковых слоя: положительный и отрицательный. На один слой кремния наносится определенное вещество, благодаря которому появляется избыток электронов. Так образуется отрицательно заряженный n-слой. На другом слое создается недостаток электронов, и он становится положительно заряженным (p-слой). В комбинации с проводниками эти n- и p-поверхности образуют светочувствительный электронно-дырочный переход. При попадании фотона света на фотоэлемент, создается электродвижущая сила, создающая во внешнем контуре направленное движение электронов, то, что мы обычно называем электрическим током. Сила тока (ампер) пропорциональна световой энергии (количеству фотонов) и размеру солнечного элемента. Сейчас фотоэлементы изготавливают из самых различных материалов, используя широкий набор технологий и подходов к производству. Однако, принцип их работы, основанный на использовании фотогальванического эффекта – повышении разности потенциалов в полупроводнике с p-n переходом под воздействием квантов солнечного света, остается единым. Правильно смонтированная солнечная батарея будет надежным, экологичным источником энергии в течение долгих лет. Все фотоэлементы можно разделить на две основные группы – кристаллические кремниевые и тонкопленочные.

Кристаллические кремниевые фотоэлементы состоят из двух слоев: внутреннего, изготавливаемого из сверхчистого кристаллического кремния и внешнего – из «загрязненного» кремния, получаемого путем добавления к основному материалу определенного количества примесей, например, фосфора. Верхний слой p-n перехода, который обладает избытком электронов, соединен с металлическими пластинами, выполняющими роль положительного электрода, пропускающими свет и придающими элементу дополнительную жесткость. Нижний слой в конструкции солнечной батареи имеет недостаток электронов и к нему приклеена сплошная металлическая пластина, выполняющая функцию отрицательного электрода.

Технология, по которой изготовлена солнечная батарея, влияет на её КПД. Считается, что в идеале солнечная батарея имеет близкий к 20 % КПД. Однако, на практике и по данным специалистов он примерно равен всего 10 %. При этом для некоторых солнечных батарей их КПД больше, для иных – меньше. В основном это зависит от технологии, по которой выполнен p-n переход. Самыми ходовыми и имеющими наибольший КПД продолжают являться солнечные батареи, изготовленные на основе монокристалла или поликристалла кремния. Причем вторые из-за относительной дешевизны становятся все распространеннее. К какому типу конструкции относится солнечная батарея, можно определить невооруженным глазом. Монокристаллические светопреобразователи имеют исключительно чёрно-серый цвет, а модели на основе поликристалла кремния выделяют синяя поверхность. Поликристаллические солнечные батареи, изготавливаемые методом

литья, оказались более дешевыми в производстве. Однако и у поли- и монокристаллических пластин есть один недостаток — конструкции солнечных батарей на их основе не обладают гибкостью, которая в некоторых случаях не помешает.

Ситуация изменилась с появлением в 1975 году солнечной батареи на основе аморфного кремния, активный элемент которых имеет толщину от 0,5 до 1 мкм, обеспечивая им гибкость. Толщина обычных кремниевых элементов достигает 300 мкм. Однако, несмотря на светопоглощаемость аморфного кремния, которая примерно в 20 раз выше, чем у обычного, эффективность солнечных батарей такого типа (КПД) не превышает 12 %. Для моно- и поликристаллических вариантов он может достигать 17 % и 15 %, соответственно.

Мощность потока солнечного излучения на входе в атмосферу Земли составляет около 1366 ватт на квадратный метр. В то же время, удельная мощность солнечного излучения в Европе в очень облачную погоду даже днём может быть менее 100 Вт/м². С помощью распространённых промышленно производимых солнечных батарей можно преобразовать эту энергию в электричество с эффективностью 9...24 %. При этом цена батареи составит около 1...3 долларов США за Ватт номинальной мощности. При промышленной генерации электричества с помощью фотоэлементов цена за кВт·ч составит 0,25 доллара. По мнению Европейской Ассоциации Фотовольтаики (EPIA), к 2020 году стоимость электроэнергии, вырабатываемой «солнечными» системами, снизится до уровня менее 0,10 € за кВт·ч для промышленных установок и менее 0,15 € за кВт·ч для установок в жилых зданиях [1].

У предпринимателей Скотта и Джулии Брушоу родилась потрясающая идея. Что, если бы все дорожное покрытие могло производить электроэнергию с помощью солнца? Работая в небольших городах в штате Айдахо, супруги Брушоу при поддержке Министерства транспорта США и краудфандингового веб-сайта Indiegogo спроектировали футуристические шоссе. Их солнечные дороги – это сотовые конструкции из соединённых между собой шестиугольников с особой стеклянной поверхностью, выдерживающей нагрузки современных автомагистралей.

Каждая пластина состоит из четырёх слоев: верхний слой – переработанное стекло, под ним – светодиоды, третий – технологический слой и нижний – несущая конструкция, изготовленная из продуктов вторичной переработки. Панели выдерживают массу в 113 тонн и имеют форму шестиугольников, каждый из которых вырабатывает до 7,6 кВт·ч в день. Супруги Брюсау утверждают, что если покрыть такими солнечными панелями все дороги США, они будут вырабатывать в 3 раза больше энергии, чем потребляет все население Америки.

Эта солнечная дорога не только революционна в вопросах новых источников энергии, она так же умна, ибо напичкана не только фотоэлементами, но и светодиодами и микросхемами. Например, если в тёмное время суток на неё наступит человек, то он окажется подсвеченным снизу и за 200 метров от него по обе стороны на солнечной дороге высветится надпись «снижаем скорость, прямо по курсу пешеход».

Дорожная солнечная панель может быть также оснащена системой подогрева для защиты покрытия от снега и льда. В будущем электромобили смогут заряжать свои аккумуляторы, получая питание прямо с покрытия или на парковках, что сделает электрический транспорт более практичным. Панели могут стать основой «умной» дороги, которая сама будет следить за безопасностью движения, предотвращать образование пробок. Еще фантастичнее выглядит идея покрыть такими панелями все дороги между штатами Америки. По подсчетам SolarRoadways на это потребуется 5 млрд. дорожных солнечных панелей, которые полностью покроют энергетические потребности США.

Итак, преимущества Солнечной Дороги:

1. Энергоэффективность и возобновляемость энергии: панели работают по принципу солнечных батарей, они превращают солнечный свет в электричество.
2. Дешевая электроэнергия: получается, что построенная Солнечная Дорога, окупает сама себя. А затраты на ее обслуживание в разы меньше, чем обслуживание обычных дорог.

3. Безопасность на дорогах: панели определяют вес предмета, находящегося на их поверхности, и распознают машина это или человек (животное), переходящий дорогу. Потом панель передает сигнал о пешеходе другим модулям, дорога вокруг пешехода начинает светиться, предупреждая водителя.
4. Модульность: каждая панель оснащена системой оповещения о неполадках, как только на ней появится малейшее повреждение, она тут же сообщит об этом в центр управления, а для ее замены потребуется всего один человек.
5. Очищение от снега: панели могут нагреваться, избавляясь от снега самостоятельно. Растаявшая вода стекает в резервуары сбоку дороги, а оттуда в стоки. Таким образом, дороги всегда расчищены, а лед на них образоваться не может.
6. Экологичность: сами по себе панели изготовлены по большей мере из переработанного пластика, но и их работа не несет вреда окружающей среде.
7. Минимальные потери вырабатываемой энергии: каждый участок Солнечной Дороги снабжает близлежащие дома или производства.

Безусловно, разработка достойна внимания! Однако дороговизна (\$7 000 за одну модульную панель) делает ее применение на практике нерациональной в рамках строительства небольших масштабов. Для таких проектов существуют более применяемые и эргономичные технологии, например, солнечные накопители.

В Нидерландах появилась первая в мире велосипедная дорожка из солнечных панелей. В ходе строительных работ был открыт 70-метровый участок дороги, являющейся частью проекта SolaRoad по созданию энергопроизводящих дорог общего пользования.

К 2016 году протяженность солнечной велодорожки в городке Кроммени, расположенном в 25 километрах от столицы Нидерландов, увеличится еще на 100 метров. Полученной таким способом энергии хватит, чтобы обеспечить электричеством три жилых дома поблизости. Велодорожка состоит из бетонных плит со встроенными солнечными модулями с высокопрочным покрытием из стекла.

На производительность дороги влияют такие факторы, как угол падения солнечных лучей, грязь и пыль. Разработчики говорят, что дорожный модуль производит на 30 процентов меньше электричества, чем аналогичный на крыше здания. Тем не менее, смысл в таких солнечных установках есть – они дополняют уже существующие дорожные сооружения.

По оценкам компании, солнечные дороги способны окупить себя за 20 лет.

Правительство Франции одобрило проект по покрытию дорог общего пользования солнечными батареями – в ближайшие 5 лет в стране будет построено 1000 километров полотна из прочных фотоэлектрических панелей. Разработка проекта велась на протяжении нескольких последних лет по инициативе Национального института солнечной энергии. Многие эксперты отнеслись к идее скептически (вопросы были к стоимости, безопасности и малой эффективности по сравнению с батареями на более открытых участках), но зеленый свет все же был получен.

Так, дороги будут строиться из панелей Wattway – с укрепленной конструкцией и 15-сантиметровыми фотоэлектрическими блоками из тонкой пленки поликристаллического кремния на покрытой смолой подложке. Толщина Wattway составляет всего 7 мм. Разработчики уверяют, что сверхтонкие панели способны адаптироваться к температурной деформации дороги и, благодаря слоистой структуре, как минимум не уступают традиционным покрытиям в части сцепных свойств (проще говоря, никаких специальных покрышек не требуется). Кроме того, первые испытания такого полотна показали абсолютное безразличие к массе машин и достаточную износостойкость. Делается все это

ради обеспечения возобновляемыми источниками энергии около 5 млн. человек (или около 8% населения Франции). По расчетам авторов, «солнечные» дороги будут заняты автомобилями всего около 10% времени, причем лишь 20 квадратных метров покрытия позволяют обеспечить электроэнергией (если речь не об отоплении) один «средний» дом.

Еще одно изобретение – велосипед на солнечной энергии. Колеса Solarbike оснащены с обеих сторон солнечными панелями, которые обеспечивают энергией аккумулятор велосипеда, прикрепленный к раме на месте, где обычно располагается фляга. Осуществить проект удалось благодаря современным солнечным батареям, способным поглощать достаточное количество света даже под неудобным углом к солнцу. Полностью заряженный аккумулятор Solarbike обеспечивает запас хода в 70 км, а максимальная скорость электровелосипеда составляет 50 км/ч.

Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Танака, С. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением / С. Танака, Р. Суда, – Москва: Стройиздат, 1989. – 163 с.

УДК 66.011

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНОГО КОМПРЕССОРА В УСТАНОВКЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ВОДНОГО РАСТВОРА ВЕЩЕСТВА

Османов К.О., Хатянович П.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Давно известно и применяется сжатие вторичного пара пароструйными компрессорами. Выпаривание является первым производственным процессом, в котором трансформаторы тепла получили применение и распространение. Это объясняется следующими благоприятными обстоятельствами:

- а) при выпаривании на 1 кг рабочего пара получается около 1 кг вторичного пара;
- б) параметры первичного и вторичного пара при малых температурных депрессиях достаточно близки, поэтому необходимая степень сжатия невелика;
- в) вторичный пар после компрессии является греющим паром и используется в этом же аппарате.

Турбокомпрессоры для сжатия вторичного пара выпарных установок малоперспективны из-за их сложности и высокой стоимости. Дешевыми и надежными устройствами являются струйные компрессоры – инжекторы, подключенные к выпарному аппарату по одной из двух схем (рисунок 1). По схеме 1, а) весь вторичный пар сжимают до давления, равного давлению его в греющей камере. До этого же давления расширяется рабочий пар в сопле инжектора. Так как количество смешанного (рабочего и вторичного) пара превышает количество пара, необходимое для поддержания производительности выпарного аппарата, часть сжатого пара $D_{изб}$ может быть использована другими потребителями тепла. Если для них могут оказаться достаточными параметры вторичного пара из выпарного аппарата, то в этом случае более экономична схема, изображенная на рисунке 1, б). По этой схеме только часть вторичного пара сжимается в струйном компрессоре, а избыточный пар подается потребителю (например, во второй корпус установки).

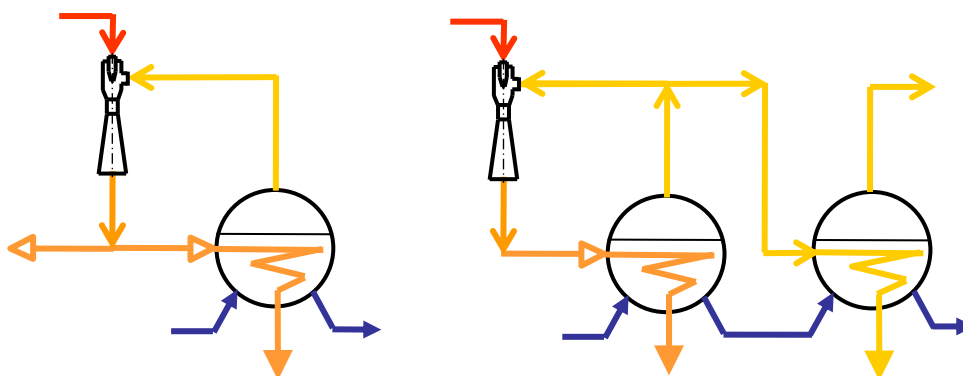


Рисунок 1 - Схема выпарных установок с парожеторным тепловым

Можно доказать аналитически, что расход рабочего пара при работе установки по схеме рисунок 1, а) в $\frac{u+1}{u}$ раз больше, чем при работе по схеме рисунок 1, б), где u – коэффициент инжекции (см. ниже). Если, однако, учесть, что при работе по схеме рисунок 1, б) несжимаемая доля вторичного пара из-за низких его параметров часто не

находит потребителя и направляется в конденсатор, то для большинства случаев схема рисунок 1, а) окажется более экономичной.

Рабочий пар высокого давления p_p поступает в струйный аппарат, расширяется в сопле инжектора и засасывает вторичный пар давлением $p_{вт}$ (рисунок 2). Из инжектора выходит смесь паров при некотором среднем давлении p_c . Таким образом, при сжатии инжектируемого пара одновременно повышается его температура, а, следовательно, и энтальпия. Степень повышения давления в таких аппаратах сравнительно невелика $p_c/p_{вт} = 1,2...4,0$.

Процесс в струйном аппарате в i, s - диаграмме изображен на рисунке 3. Рабочий поток с параметрами p_p, t_p (точка А) расширяется в сопле от давления p_p до давления p_k (точка В). Инжектируемый пар с давлением $p_{вт}$ (точка К) расширяется на выходном участке камеры смешения до давления p_k (точка М). В камере смешения происходит выравнивание скоростей рабочего и инжектируемого пара и частичное повышение давления смешиваемых потоков (точка N). Смешанный поток поступает в диффузор, где происходит преобразование кинетической энергии во внутреннюю – повышаются давление и энтальпия смешанного потока. Конечное состояние пара, выходящего из компрессора, характеризуется параметрами p_c и

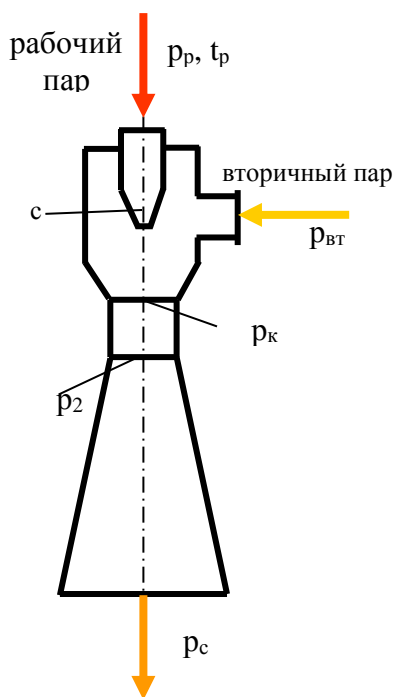


Рисунок 2 – Принципиальная схема струйного теплового насоса

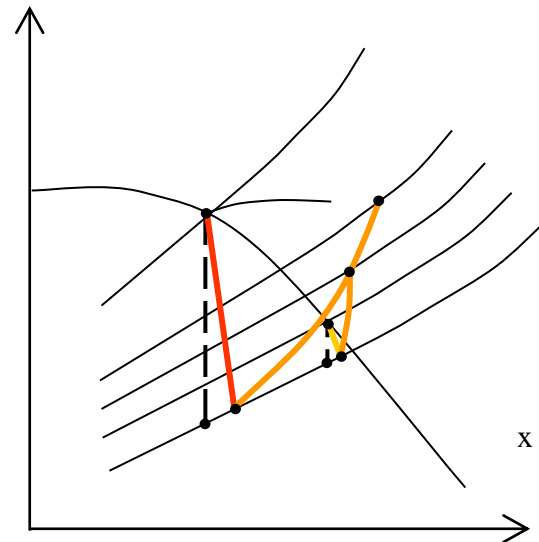


Рисунок 3 – Процессы в струйном аппарате

i_c (точка С).

Из уравнения энергетического баланса компрессора

$$G_p i_p + G_{вт} i_{вт} = (G_p + G_{вт}) i_c \tag{1}$$

следует, что

$$\frac{G_{вт}}{G_p} = \frac{i_p - i_c}{i_c - i_{вт}}, \tag{2}$$

где $G_{вт}/G_p = u$ - коэффициент инжекции (отношение количества, засасываемого вторичного пара $G_{вт}$ к количеству рабочего пара высокого давления G_p).

Анализ характеристик струйного компрессора (коэффициента инжекции, КПД пароструйного инжектора и расхода свежего пара) проведен для различных давлений рабочего тела (0,6...1,0 МПа) при следующих параметрах выпарного аппарата:

- расход выпариваемой воды (вторичного пара) $D_{вт} = 0,6$ кг/с;
- абсолютное давление в аппарате $p_{вт} = 0,2$ МПа;
- абсолютное давление греющего пара $p_{гр} = 0,3$ МПа;
- пар греющий и вторичный – сухой насыщенный.

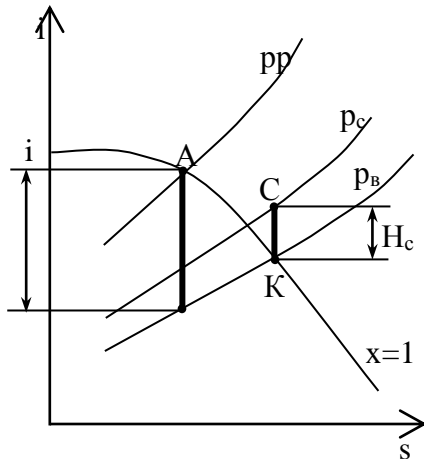


Рисунок 4 – Процессы сжатия и расширения в струйном аппарате

$\eta_1 = 0,9$; $\eta_2 = 0,8$; $\eta_3 = 0,7...0,8$.

Многовариантные расчеты проведены по следующей методике. По i,s – диаграмме водяного пара (рисунок 5) находятся адиабатные перепады при расширении рабочего пара от $p_p = var$ до $p_{вт}$ $H_p = i_A - i_0$, а также при сжатии вторичного пара от $p_{вт}$ до $p_{гр} = p_c$ $H_c = i_{c'} - i_k$.

Коэффициент инжекции

$$u = \sqrt{\eta_a H_p / H_c} - 1, \tag{3}$$

где η_a – внешний КПД инжектора, равный, $\eta_a = \eta_1 \eta_2 \eta_3$, здесь η_1 , η_2 и η_3 – КПД сопла, камеры смешения и диффузора; при расчетах приняты

Энтальпия смеси паров после инжектора составляет

$$i_c = \frac{i_p + u i_{вт}}{1 + u}, \tag{4}$$

где $i_p = i_A = var$; $i_{вт} = i_k$ (определяется по $p_{вт}$).

Расход греющего пара

$$D_{гр} = \frac{D_{вт}}{\eta}, \tag{5}$$

где η – коэффициент, учитывающий тепловые потери в окружающую среду и неравенство теплоты парообразования греющего и вторичного пара ($\eta = 0,85...0,88$).

Расход рабочего пара

$$D_p = \frac{D_{гр}}{u + 1} \tag{6}$$

Расход засасываемого инжектором вторичного пара

$$D_{инж} = D_{гр} - D_p \tag{7}$$

Остальное количество вторичного пара, равное $D_{вт} - D_{инж}$, не подвергается термокомпрессии и может быть использовано в следующем корпусе многокорпусной выпарной установки (рисунок 1, б).

КПД струйного компрессора определяется как отношение полезной работы повышения энтальпии инжектируемого потока к работе, затраченной инжектирующим (рабочим) потоком

$$\eta_K = \frac{u H_c}{H_p - H_c} \tag{8}$$

На основании расчетов построены зависимости $u = f_1(p_p)$ (рисунок 5), $D_p = f_2(p_p)$

(рисунок 6) и $\eta_K = f_3(p_p)$ (рисунок 7). Характер зависимости КПД струйного компрессора от давления рабочего пара позволяет сделать вывод о нецелесообразности повышения указанного давления выше 0,8 МПа, так как это не приводит к пропорциональному

Рисунок 7 - Зависимость КПД струйного компрессора от давления рабочего пара

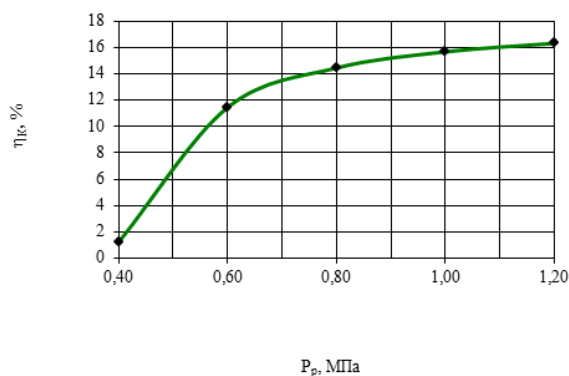


Рисунок 6 - Зависимость расхода рабочего пара на инжектор от его давления

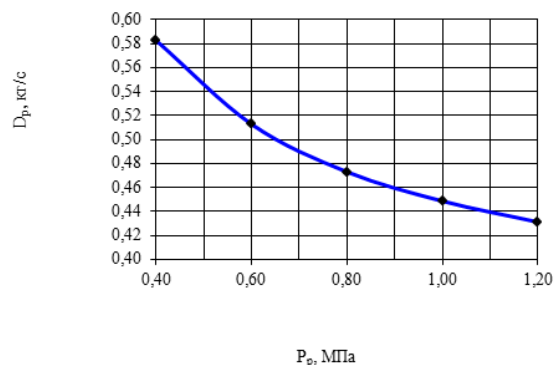
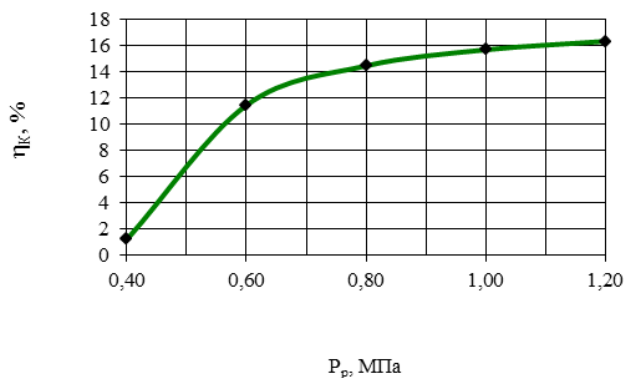


Рисунок 7 - Зависимость КПД струйного компрессора от давления рабочего пара



повышению эффективности компримирующего устройства.

Литература

1. Баранов, Д.А. Процессы и аппараты: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Д.А. Баранов, А.М. Кутепов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / Ю.И. Дытнерский. – 2-е изд. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
3. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учебное пособие для вузов / П.Г. Романков [и др.]; под общ. Ред. П.Г. Романкова. - СПб.: Химия, 1993. – 576 с.

УДК 658.264

ВЫБОР ВАРИАНТА ТЕПЛОИСТОЧНИКА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ СООО «ПП ПОЛЕСЬЕ»

Ковалёва К. И.

Научный руководитель – м.т.н., ассистент Бобич А.А.

Важнейшей стратегической задачей любого промышленного предприятия является сохранение долгосрочной конкурентоспособности. Для реализации этой задачи необходимо постоянное сокращение энергоёмкости производства, что в результате ведёт к снижению себестоимости продукции. Одним из этапов снижения затрат предприятия на энергетические ресурсы может быть создание собственного энергогенерирующего источника, использующего возобновляемые источники энергии, что обеспечивает одновременно снижение и импорта природного газа, и финансовых затрат на энергообеспечение предприятий. Однако, при выборе варианта энергогенерирующего источника необходимо учитывать комплекс аргументов, которые, в большей или меньшей степени, влияют на эффективность энергообеспечения предприятия и снижение энергетической составляющей себестоимости продукции. Учёт перечисленных факторов позволяет сделать вывод о целесообразности реализации проекта.

Целью работы является рассмотрение нескольких альтернативных вариантов строительства генерирующего источника для теплоснабжения реконструируемых зданий в г. Пинске, предназначенных для размещения филиала сборочного производства детских игрушек завода пластмассовых изделий СООО «ПП Полесье» расположенного в г. Кобрин.

Для функционирования предприятия необходима электроэнергия для нужд технологии, освещения и тепловая энергия на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Величина потока потребляемой электрической мощности составляет до 0,9 МВт в рабочее время отопительного и межотопительного периодов и отсутствует в нерабочее время.

Тепловая нагрузка сугубо отопительная, носит сезонный характер и зависит от температуры окружающей среды, величина которой составляет 0,66 Гкал/ч в рабочее время отопительного периода и 0,37 Гкал/ч в нерабочее время и выходные дни необходимая для поддержания дежурной температуры в помещении. Отпуск тепловой энергии в виде сетевой воды предусматривается по температурному графику 95/70 °С.

Величина средней нагрузки горячего водоснабжения составляет 0,042 и 0,034 Гкал/ч в отопительный и межотопительный периоды соответственно.

Рядом с реконструируемыми зданиями находится Пинская ТЭЦ, которая обеспечивает нужды отопления и горячего водоснабжения жилые районы за счёт подачи сетевой воды по теплотрассе диаметром 400 мм. Теплотрасса проложена надземно, и имеет протяжённость порядка 1,5 км. Ближайшая тепловая камера находится на расстоянии 0,5 км. Теплотрасса эксплуатируется давно, поэтому потери в тепловых сетях составляют не менее 15 %. В этой связи, для уменьшения теплопотерь в качестве генерирующего источника тепловой энергии на предприятии планируется использовать собственную проектируемую котельную на природном газе. Газоснабжение котельной предусматривается от газопровода высокого давления 1,2 МПа диаметром 400 мм удаленного на расстоянии до 0,9 км.

На основании тепловых нагрузок в качестве альтернативных для реализации проекта рассмотрено 3 варианта:

1. Вариант предусматривает централизованное теплоснабжение за счет подключения к существующим сетям Пинской ТЭЦ для обеспечения тепловой энергией, в виде горячей воды, для нужд отопления и вентиляции. Тепловая нагрузка на нужды ГВС будет обеспечиваться от четырёх солнечных коллекторов общей площадью 10 м² с бойлерами объёмом от 150 до 350 л, установленными на крышах зданий. Потребность в электроэнергии

будет обеспечиваться от энергосистемы. Данный вариант исключает установку оборудования на территории предприятия, кроме солнечных коллекторов.

2. Данный вариант предусматривает строительство на территории предприятия котельной с установкой трех газовых водогрейных котлов суммарной мощностью 1,8 МВт. Количество котлов выбрано так, чтобы обеспечить расчётные нагрузки, а в случае выхода из работы одного котла, оставшиеся могли обеспечить длительный отпуск теплоты на отопление и вентиляцию в необходимом количестве для поддержания требуемой температуры в здании. Нагрузка ГВС покрывается от солнечных коллекторов, как и в варианте 1. Обеспечение предприятия электроэнергией осуществляется путём её закупки в энергосистеме.

3. Вариант предусматривает установку комплекса, в состав которого входит два электрокотла суммарной мощностью 2 МВт в связке с двумя тепловыми аккумуляторами общим объёмом 400 м³. Мощность электрокотлов выбрана так, чтобы обеспечить зарядку аккумуляторов горячей водой с температурой зарядки до 95 °С при температуре обратной сетевой воды в межотопительный период 40 °С. Работа электрокотлов предусматривается в период с 23-00 до 06-00 и в этот же период будет осуществляться накопление тепловой энергии в баках-аккумуляторах на целые сутки. В отопительный период режим работы электрокотлов и тепловых аккумуляторов не изменится. Для питания электрокотлов предусматривается строительство подстанции мощностью 2 МВт.

Целесообразность рассмотрения варианта с использованием электрокотлов в период с 23-00 до 06-00 заключается в том, что с пуском АЭС будет иметь место избыток генерации в ночное время и, в этой связи, ночной тариф на электроэнергию должен быть снижен.

На основании технико-экономических показателей, наилучшим, из рассмотренных, является вариант 2, который предусматривает установку трёх газовых водогрейных котлов суммарной мощностью 1,8 МВт, а также установку солнечных коллекторов, использование которых в условиях Беларуси оказывается перспективным для покрытия нагрузки ГВС.

Минимальный срок окупаемости указанного варианта составляет 4 года. Системная экономия условного топлива – 72 тонны в год. Снижение расхода органического топлива приводит к улучшению экологической обстановки в стране за счёт снижения вредных выбросов в атмосферу. Затраты предприятия на теплоснабжение снижаются в 1,3 раза по сравнению с централизованным теплоснабжением.

Литература

1. ТКП 241-2010 «Порядок разработки технико-экономического обоснования выбора схем теплоснабжения при строительстве и реконструкции объектов».

2. Постановление министерства экономики Республики Беларусь, министерства энергетики Республики Беларусь и комитета по энергоэффективности при совете министров Республики Беларусь от 24 декабря 2003 г № 252/45/7 «Об утверждении Инструкции по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий».

3. Самсонов В. С. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учебник для вузов. / В. С. Самсонов, М. А. Вяткин. – 2-ое изд. – М.: Высшая школа, 2003 – 416 с.: ил.

УДК 534.2

ФАКЕЛЬНОЕ СЖИГАНИЕ ДИСПЕРСНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Ярмольчик Д. Ю.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

В условиях повышения цен на нефтепродукты и природный газ интерес к использованию твердого топлива как к основному альтернативному энергоносителю возрастает. В результате вопрос о развитии новых энергоэффективных технологий сжигания мелкодисперсных твердых топлив (измельченных углей, торфа, бытовых и промышленных горючих отходов, сланцев и т.п.) является актуальным.

Однако использование подобных видов топлива сопровождается необходимостью решения задачи организации стабильного и экологичного горения в топках уже существующих теплогенераторов.

Целью исследования является организация энергоэффективного и стабильного сжигания мелкодисперсного твердого топлива в установленных энергогенерирующих агрегатах. В работе дается анализ современного состояния белорусской энергетики и подчеркивается актуальность проблемы замещения проектных топлив. Обосновывается выбранная методика проведения исследований, рассмотрены основные тенденции, связанные с замещением проектных топлив. Представлен обзор проведенных исследований, связанных с проблемой перехода на непроектное топливо, как на основе экспериментального подхода, так и на основе применения пакетов прикладных программ. При замещении базового топлива требуется изменить конструкцию топки и условия эксплуатации оборудования, применить принципиально новое горелочное устройство, что приводит к значительным материальным затратам, привлечения большого числа специалистов, вывода теплогенерирующего агрегата из эксплуатации на длительный срок, но при этом гарантировать надежную и эффективную работу агрегата после реконструкции невозможно. Проведение вычислительных экспериментов позволяет значительно снизить затраты и повысить эффективность разработки по сравнению с экспериментальными исследованиями. Для построения адекватной математической модели аэродинамики дымовых газов, процессов горения и теплообмена в топках используется метод Эйлера-Лагранжа для описания движения газа и взвешенных частиц. Численными методами определены режимные параметры при изменении дисперсности и плотности топлива, скорости потока топливовоздушной смеси и вторичного воздуха, подаваемого на горение, а также конфигурация и геометрические характеристики оптимального пламени.

УДК 658.264

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА НА НПЗ

Кузьмин Р.О., Мясникович В. В.

Научный руководитель - к.т.н, профессор Седнин А.В.

Под утилизацией низкотемпературных потоков на НПЗ обычно понимают утилизацию тепловой энергии продуктов первичной и вторичной переработок нефти, таких как бензин, дизель, гудрон и др. с температурой не превышающую 120 °С. Однако стоит уделить внимание и утилизации тепловой энергии, уходящей в атмосферу с вытяжным воздухом из административных, производственных и других помещений. Утилизировать тепловую энергию вытяжного воздуха можно при помощи современных вентиляционных установок с рекуперацией и регенерацией вытяжного воздуха.

На данный момент наиболее распространенными утилизаторами тепловой энергии вытяжного воздуха являются роторные регенераторы и пластинчатые утилизаторы. И те, и другие изготавливаются из металла и в связи с применением их в климатических условиях Республики Беларусь имеют ряд недостатков. Одним из главных является обмерзание утилизаторов в зимний период времени из-за образования конденсата при охлаждении вытяжного воздуха.

В 2014 году в Республике Беларусь была произведена первая приточно-вытяжная вентиляционная установка, которая была разработана и адаптирована специально для климата Беларуси и Российской Федерации. В состав такой утилизационной установки входили пластинчатые мембранные теплообменники, изготовленные из полимерных материалов. Применение такой технологии позволяет утилизировать низкотемпературные потоки вытяжного воздуха и подогревать приточный воздух с высокой эффективностью рекуперации.

Приточно-вытяжные вентиляционные установки, производимые белорусским заводом Ирридио, позволяют также снизить затраты на эксплуатацию вентиляционных систем благодаря новейшим энергоэффективным электродвигателям и использованием качественных долговечных материалов. Кроме всего стоимость белорусского инновационного оборудования значительно ниже европейских аналогов.

С помощью мембранных теплообменников эффективно утилизировать тепловую энергию воздушных потоков, отводящихся от аппаратов воздушного охлаждения (АВО). Теплый воздух после АВО подогревает свежий приточный воздух, который в свою очередь дополнительно подогревается в приточно-вытяжной установке, где очищается, подогревается вытяжным воздухом, доводится до температуры, согласно санитарным нормам и подается в операторные, технические, административно-бытовые и другие помещения, где требуется приточный воздух. Схема приведена на рисунке 1.

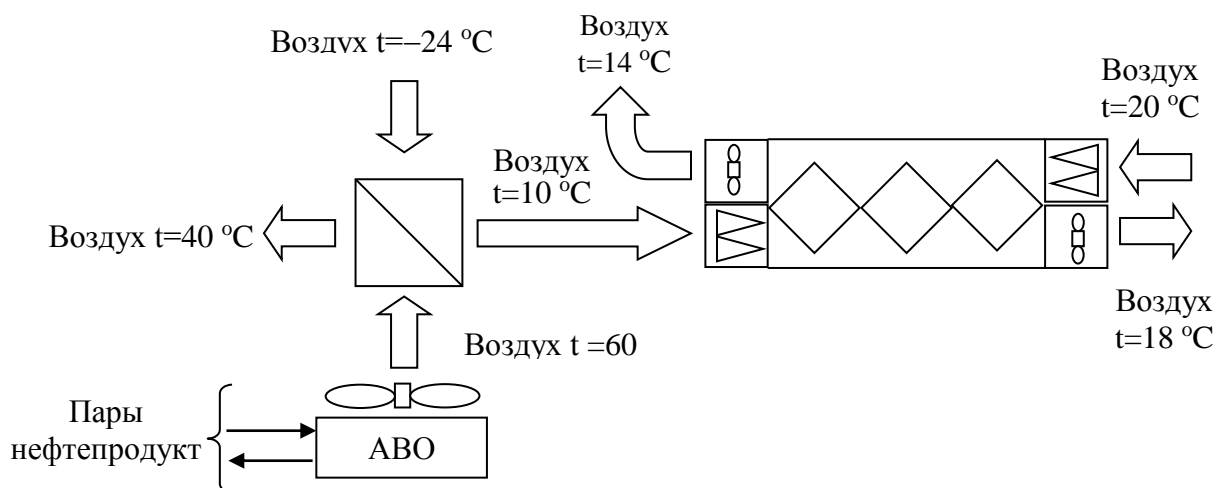


Рисунок 1 – Схема утилизации тепловых выбросов АВО на НПЗ

Использование мембранных пластинчатых теплообменников типа «воздух-воздух» позволяет утилизировать тепловые выбросы воздуха в атмосферу от АВО, что увеличивает общий энергетический КПД и снижает затраты на эксплуатацию систем вентиляции помещений предприятия, что приводит к уменьшению себестоимости продукции и повышению ее конкурентоспособности.

УДК 519.876.5

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

Горбач В.А., Янкович В.С., Панкевич В.И.
Научный руководитель – аспирант Матявин А.А.

Энергетический паспорт - программа, которая может, как ускорить вашу работу, так и замедлить ее, исправить ваши ошибки и недочеты, или пропустить их.

Поэтому выбор программного обеспечения, с которым вы будете работать для составления энергетического паспорта, очень важное решение.

В этом обзоре, мы напишем наше мнение по работе с программным обеспечением для подготовки энергетических паспортов.

Энергетический паспорт включает в себя 2 программы:

- ARM Энергоаудитор от Российского энергетического агентства
- E-Pass от компании Octonica

ARM Энергоаудитор — первая программа. Общее впечатление: на тот момент (2012 год) программа была не доработана.

Периодически возникали, какие-то необъяснимые ошибки. Данные, которые уже были заполнены в предыдущих формах энергопаспорта, приходилось дублировать в следующих. То есть автоматика не работала.

Поля энергопаспорта, которые должны бы были рассчитываться автоматом, приходилось считать самому на калькуляторе и заполнять в ручную.

Несмотря на перечисленные выше недостатки, ARM Энергоаудитор это был большой шаг вперед по сравнению с xls программками и другими продуктами, которые были на рынке в тот момент.

Сейчас работаем с E-Pass. К ней по большому счету претензий нет. Все что можно, считает автоматом. Данные нигде дублировать не надо.

Можно хорошо наладить систему взаимосвязи Аудитор — > СРО — > Экспертиза и обратно. Было конечно пару раз, что и E-Pass не работал. Но с какой программой такого не бывает. E-Pass можем рекомендовать для использования в работе.

Литература

1. Энергетический паспорт [Электронный ресурс]. / Энергетический паспорт – официальный сайт компании. Режим доступа: <http://www.energo-pasport.com/programma-energeticheskij-pasport/>

УДК 620.92

БЕСПРОВОДНОЕ ИНДУКЦИОННОЕ СРЕДСТВО ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Богдан А.А., Захарченко В.С, Игнатович Р.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

В современном мире всё острее становится вопрос об избавлении от проводов. Все давно привыкли к вещам типа Wi-fi, сотовая сеть Интернет. Мы хотим представить беспроводное зарядное устройство для телефона и прочих мелочей. Прежде всего нужно сказать, что это не модель вечного двигателя. Более того, КПД такого устройства достаточно низкое, однако, это достаточно удобно подавать энергию на предметы, которые просто лежат на столе.

Портативное электронное устройство, в описании характеристик которого нет таких прилагательных как мобильное и беспроводное, едва ли заинтересует современного потребителя. Новомодный гаджет уже невозможно представить без набора беспроводных интерфейсов. Благодаря им осуществляется подсоединение к каналам широкополосной связи (GSM/GPRS-сетям, домашним и/или офисным локальным сетям типа Wi-Fi и т.д.), а также периферийным устройствам (Bluetooth-гарнитурам, акустическим системам, внешним накопителям и т.д.) или другим мобильным гаджетам и компьютерам. И только наличие кабеля для зарядки аккумулятора пока еще не позволяет называть ультрасовременные смартфоны, планшетные компьютеры и мобильные телефоны полностью беспроводными



Один из способов решения проблемы – внедрение технологии беспроводной передачи электроэнергии для зарядки аккумуляторов. Гиганты мировой электронной индустрии прилагают немало усилий для разработки такой технологии и внедрения на рынок коммерчески привлекательных беспроводных зарядных устройств. Вместе с тем остается риторический вопрос: можно ли считать мобильное устройство в полной мере беспроводным, если для его подзарядки необходимо все же подключать кабель, пусть даже не к суперсовременному гаджету, а к устройству зарядки, учитывая, что расстояние между ними не более 10...40 мм? В случае применения беспроводной зарядки мобильный телефон размещается непосредственно на поверхности передатчика зарядного устройства.

Однако сфера применения беспроводных устройств не ограничивается только зарядкой аккумуляторов мобильных телефонов. Технологию беспроводной передачи энергии можно использовать в медицине, для зарядки аккумуляторов автотранспортных средств или в качестве источника электроэнергии для светодиодных светильников, а также в других приложениях.

Принцип действия

Существует несколько известных из курса физики беспроводных (бесконтактных) способов передачи энергии. Однако наибольшее распространение в электротехнике получили решения с использованием беспроводной передачи электроэнергии на основе явления электромагнитной индукции.



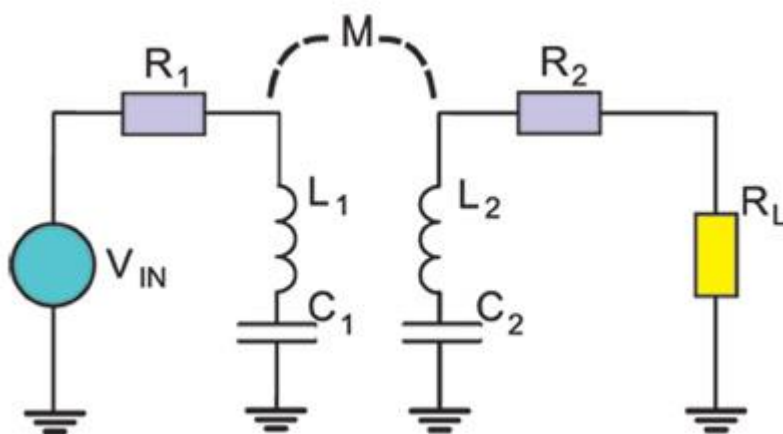
Как известно, область распространения электромагнитного поля разделяется на две основные зоны в зависимости от расстояния от источника излучения. Ближняя зона (зона индукции или реактивная) ограничивается расстоянием, равным $\lambda/2\pi$, где λ – длина волны. Зона индукции постепенно переходит в зону излучения (волновую), и ярко выраженной границы между ними не существует. На границах ближней и дальней зон различают переходную промежуточную зону. При частотах 10, 1 и 0,1 МГц протяженность ближней зоны составляет примерно 4,7; 47 и 477 м.

В системах беспроводной зарядки для передачи энергии от источника (передатчика) к приемнику используется явление электромагнитной индукции, которое заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. На сайтах консорциумов WPC, PMA и A4WP можно найти информацию о принципе действия систем передачи энергии без проводов. Система состоит из первичной катушки L1 (источника) и вторичной катушки L2 (приемника). Катушки образуют систему с индуктивной связью. Переменный ток, протекая в обмотке первичной катушки, создает магнитное поле, индуцирующее напряжение в приемной катушке, которое может быть использовано как для зарядки аккумулятора, так и для питания устройства. По мере удаления вторичной катушки от первичной все большая часть магнитного поля рассеивается и не достигает вторичной катушки. Даже при относительно малых расстояниях индуктивная связь становится неэффективной.

Резонансные контуры с индуктивной связью, применяемые в системах беспроводной зарядки, уже на протяжении десятков лет успешно используются в разнообразных радиотехнических устройствах, а их теория давно и хорошо известна.

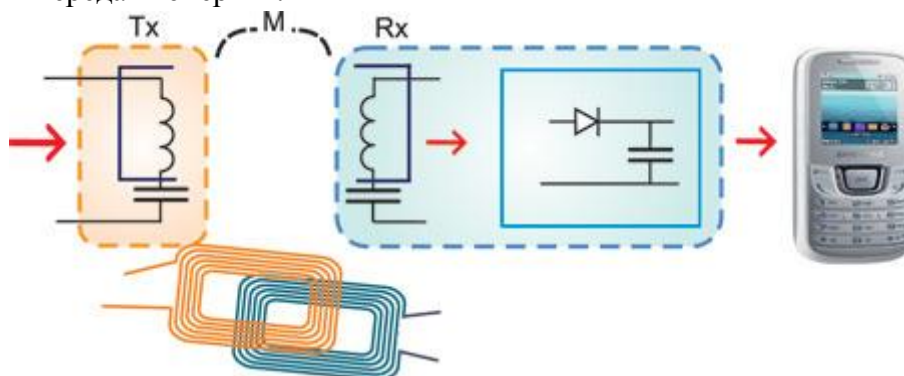
Эффективность передачи энергии зависит от коэффициента связи между катушками и их добротности, а для увеличения эффективности беспроводных систем зарядки следует использовать явление резонанса, что позволяет увеличить КПД и дальность передачи энергии. Повысить эффективность индуктивно связанных систем можно за счет увеличения добротности катушек и/или коэффициента связи.

В настоящее время разработаны две технологии беспроводной зарядки, использующие явление электромагнитной индукции. Одна из них, в которой используются сильно связанные катушки, получила название MI (Magnetic Induction – магнитно-индуктивная), другая со слабо связанными – MR (Magnetic Resonant – магнитно-резонансная). WPC- и PMA-спецификации базируются на использовании технологии MI, в спецификациях альянса A4WP рекомендуется использование – MR. Эти две технологии имеют много общего, однако вместе с тем присутствуют и кардинальные отличия.



Упрощенная эквивалентная схема магнитно-связанных катушек

В каждой из них для беспроводной передачи энергии используется магнитное поле и применяются резонансные контуры (см. рис. 1). Магнитный поток, создаваемый источником и пронизывающий вторичную катушку, зависит от конфигурации магнитного поля, которую можно трансформировать как благодаря изменению геометрических размеров катушек и их взаимному расположению, так и за счет применения соответствующего магнитного экранирования. Плотность потока зависит от магнитной проницаемости экранов. Стоимость и толщина экранов являются ключевыми факторами при их выборе. От взаимной ориентации, передающей и принимающей катушек, а также от расстояния между ними зависит эффективность системы передачи энергии. Чем больше расстояние между катушками, тем менее эффективна система. Кроме того, эффективность зависит от резонансной частоты, относительных размеров передающей и принимающей катушек, коэффициента связи, сопротивления обмоток, наличия скин-эффекта, паразитных связей и ряда других факторов. Смещение по координатам X , Y , Z , а также наличие угла наклона между катушками приводит к существенному росту потерь и соответственно – к снижению эффективности передачи энергии.



В WPC-спецификациях приведены определенные требования к позиционированию приемной катушки относительно передающей. Однако, чтобы получить максимальный коэффициент связи между двумя катушками в реальной системе может потребоваться дополнительная регулировка их взаимного расположения.

В случае применения MR-технологии нет необходимости в строгом позиционировании катушек, а также имеется возможность использовать один источник для одновременной зарядки нескольких устройств, что, несомненно, более привлекательно для пользователей. Однако в этом случае следует учитывать влияние расстояния между «связанными устройствами» на эффективность системы.

В зависимости от требований (не в последнюю очередь это стоимость и размер катушек), в системах, созданных на базе этих технологий, могут применяться одна или

несколько катушек. В рекомендациях WPC- и PMA-спецификаций, основанных на технологии MI, резонансная частота выбирается с учетом сопротивления нагрузки и может изменяться в достаточно широком диапазоне. В связи с этим эффективная добротность системы относительно низкая по сравнению с решениями на базе технологии MR. Оптимальная эффективность системы может быть достигнута только на определенной резонансной частоте и при оптимальном сопротивлении нагрузки. В случае использования MR-технологии (т.к. энергия передается на строго определенной резонансной частоте) добротность системы выше, однако требуется очень точное согласование резонансных частот. При использовании обеих технологий изменение параметров в процессе работы должно строго контролироваться, т.к. они оказывают непосредственное влияние на эффективность передачи энергии.

КПД системы является важнейшим фактором для устройств беспроводной передачи энергии. Независимо от значения КПД почти всегда можно обеспечить передачу заданного уровня мощности. Однако вопрос в том, какой ценой и какими средствами. Чем больше КПД, тем меньше размеры и стоимость беспроводного зарядного устройства при той же передаваемой мощности. При зарядке смартфона от проводного адаптера (5 В) можно достичь КПД около 97%. В случае беспроводной зарядки такие показатели пока еще недостижимы, а то насколько они ниже, зависит от многих факторов, в т.ч. от расстояния. Увеличение расстояния между первичной и вторичной катушками вызывает снижение КПД любой системы. Однако в системах со слабосвязанными, настроенными в резонанс катушками, уменьшение КПД происходит намного медленнее в сравнении с системами с сильносвязанными катушками, что проявляется даже при применении катушек одинакового размера.

Еще одно отличие технологий заключается в следующем. При использовании метода MI для формирования переменного тока в резонансном контуре первичной катушки применяется полумостовой или мостовой преобразователь, тогда как при методе MR – усилитель мощности. Архитектура усилителя мощности может модифицироваться в зависимости от частоты, КПД, тока потребления в режиме ожидания, размеров, стоимости и назначения устройства. Вместе с тем при использовании этих методов следует уделять серьезное внимание снижению потерь на переключение, а также уменьшению паразитных потерь во внешних компонентах.

В зависимости от требований к входному напряжению и архитектуре системы, выбор технологии играет определяющую роль для оптимизации интегрированных решений. Как правило, в системе управления имеется несколько контуров регулирования, при этом стабильность общего контура управления определяет высокую производительность системы.

Стандарты

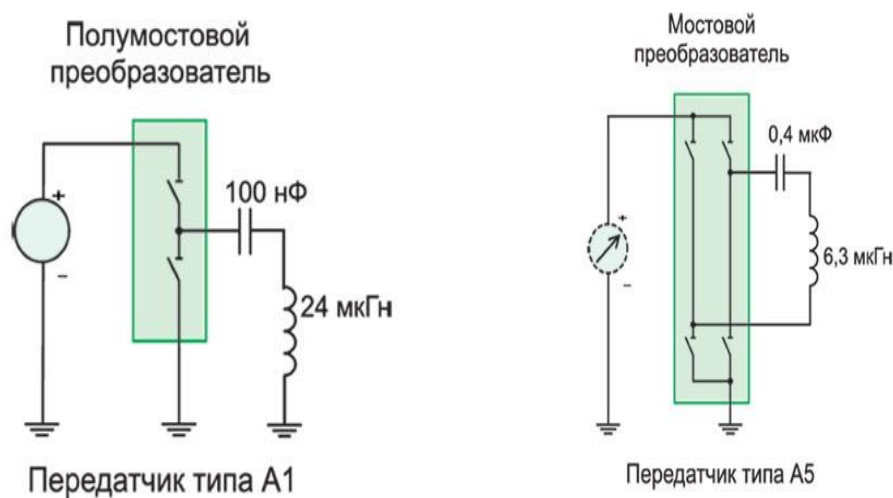
В настоящее время беспроводные зарядные устройства выпускаются в соответствии со спецификациями, предложенными альянсами WPC и PMA, в основу которых положена технология MI

В WPC-спецификациях содержатся требования к мощности передатчика, приведены значения индуктивности передающих катушек, диаметра и марки провода обмотки, размеров катушек, а также даны рекомендации по выбору материала магнитных экранов и их расположению. В некоторых случаях для более точного позиционирования катушек предусматривается наличие постоянных магнитов. Их тип, расположение и ориентация полюсов также регламентируется спецификациями. Кроме того, для каждого типа передатчика даны размеры передающих катушек и приведены рекомендации по структуре преобразователя, формирующего ток в первичной катушке. Приведены также параметры PID-регулятора и его структурная схема.

Передатчики типа А, как правило, содержат всего одну обмотку, она же всегда используется как активная. Если предусмотрено несколько или реализован линейный массив обмоток (например, как в А6 с частичным перекрытием), то тогда только одна из обмоток

подключается к преобразователю. Причем, именно та из массива, которая в текущий момент обеспечивает наиболее эффективную передачу энергии приемнику. Выбор необходимой обмотки выполняется на начальном этапе обмена данными с приемником. Такой подход позволяет в определенной степени реализовать концепцию свободного позиционирования приемника и передатчика, что дает возможность потребителям не беспокоиться о точном совмещении мобильного устройства с определенным участком поверхности зарядного устройства. В передатчиках типа А поддерживается работа только с одной активной обмоткой.

В передатчиках типа В предусматривается возможность работы с несколькими обмотками из массива (т.е. допускается одновременное их подключение параллельно или последовательно), что обеспечивает возможность свободного позиционирования приемника на поверхности передатчика. Один преобразователь обслуживает только один приемник, однако не исключается возможность реализации нескольких преобразователей, при этом можно использовать незадействованные обмотки из массива. На рисунке приведены структура и основные характеристики передатчиков типа А1 и А5.



Заключение

Назовем функциональные преимущества систем, основанных на использовании индуктивно-резонансного метода, в сравнении с системами на базе метода магнитной индукции.

1. Гибкость во взаимной ориентации источника и приемников в процессе работы делает такие системы более простыми и удобными в пользовании.
2. Один источник может быть использован для передачи энергии более чем одному приемнику, даже если они имеют разные требования к электропитанию, т.е. вместо того, чтобы иметь специальное зарядное устройство для каждого мобильного телефона, можно использовать всего одно для одновременной зарядки нескольких.
3. Поскольку подразумевается использование систем с низким значением коэффициента связи ($< 0,1$), устраняются требования по поводу жестких ограничений между размерами катушек источника и приемника.
4. Расстояние для эффективной передачи энергии может быть увеличено за счет использования резонансных ретрансляторов.

В настоящее время на зарождающемся рынке беспроводных зарядных устройств аккумуляторов для мобильных гаджетов сложилась интригующая ситуация. Почти одновременно были созданы три независимых отраслевых альянса: WPC, PMA и A4WP. При

этом ведущие компании одновременно являются членами конкурирующих альянсов, а каждый из них предлагает разные принципы реализации технологии беспроводной передачи энергии. В такой ситуации едва ли можно ожидать, что будет обеспечиваться совместимость между оборудованием разных производителей, поэтому ведущие корпорации вынуждены искать пути мирного урегулирования сложившейся ситуации.

В январе 2014 г. на международной выставке потребительской электроники CES-2014 консорциум WPC продемонстрировал возможности зарядных устройств, созданных на базе магнитно-резонансной технологии в соответствии с новыми модифицированными Qi-спецификациями.

Обострившаяся конкуренция на рынке интеллектуальных гаджетов вынуждает производителей предлагать потребителям все новые функциональные возможности. Так, одной из новых «фишек» ультрамодных смартфонов можно назвать беспроводную зарядку, которая для потребителей может послужить реальным аргументом в споре за их качество.

Литература:

1. http://radioskot.ru/publ/zu/besprovodnaja_zarjadka_dlja_telefona/8-1-0-459
2. <https://habrahabr.ru/post/253185/>
3. http://itcrumbs.ru/besprovodnaya-zaryadka-dlya-telefona-printsip-raboty_14659
4. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/70732/>

УДК 620.92

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА РБ

Иванова Д.С, Павлович И.В, Твердунова А. Д.
Научный руководитель – старший руководитель Петровская Т.А.

Альтернативная энергетика — совокупность перспективных способов получения, передачи и использования энергии, которые распространены не так широко, как традиционные, однако представляют интерес из-за выгоды их использования при, как правило, низком риске причинения вреда окружающей среде.

Сегодня в Беларуси созданы уже 16 биогазовых комплексов, порядка 50 ветроэнергетических установок и 46 солнечных электростанций.

Недостаток ископаемых энергоресурсов делает биоэнергетику одной из наиболее интересных и перспективных отраслей отечественного АПК. Государство поддерживает ее развитие, применяя стимулирующие тарифы на энергию, вырабатываемую биогазовыми комплексами. Наличие биогазовой установки гарантирует хозяйству дополнительную выручку, решение экологических проблем, стабильность электро- и теплоснабжения.

Сегодня в Беларуси работает семь биогазовых комплексов мощностью от 340 кВт до 4,8 МВт. Всего согласно профильной госпрограмме в организациях АПК запланировано построить 22 установки суммарной установленной мощностью 21,7 МВт. Наибольший положительный опыт эксплуатации биогазовых установок в нашей стране пока имеет КСУП «СГЦ «Западный» Брестского района. Там биогазовая установка введена в строй самой первой и сегодня работает на полную мощность (520 кВт), обеспечивая свиноводческий комплекс теплом и ценными удобрениями, а также увеличивая прибыль хозяйства за счет реализации электроэнергии. За 2012 год «Западный» продал в сеть РУП «Брестэнерго» более 3,2 млн кВт·ч, получив прибыль в 1,5 млрд руб. Кроме того, предприятие существенно экономит, используя выработанную электро- и теплоэнергию на собственные нужды.



Рисунок 1 - Биогазовый комплекс

Согласно национальной программы развития местных и возобновляемых источников на 2011 – 2015 гг. на территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок, где можно разместить ветроустановки (ВЭУ). Общий энергетический потенциал при этом оценивается в 1600 МВт мощности. Среднегодовая скорость фонового ветра колеблется от 3 до 4 м/с на

высоте 10-12 метров. Поэтому в программе оговорена необходимость тщательного технико-экономического обоснования строительства ветроустановок в каждом отдельном случае. В настоящий момент на территории РБ действует 18 ветроустановок суммарной мощностью 4 МВт. ВЭУ действуют в Гродненской, Минской, Витебской, Могилевской областях. Самая крупная ветроустановка в Беларуси действует в Новогрудском районе, ее мощность составляет 1,5 МВт.

Распределение расчетной скорости ветра на уровне 60 м в Беларуси можно посмотреть на изображении. Сразу становится понятен выбор действующих площадок.

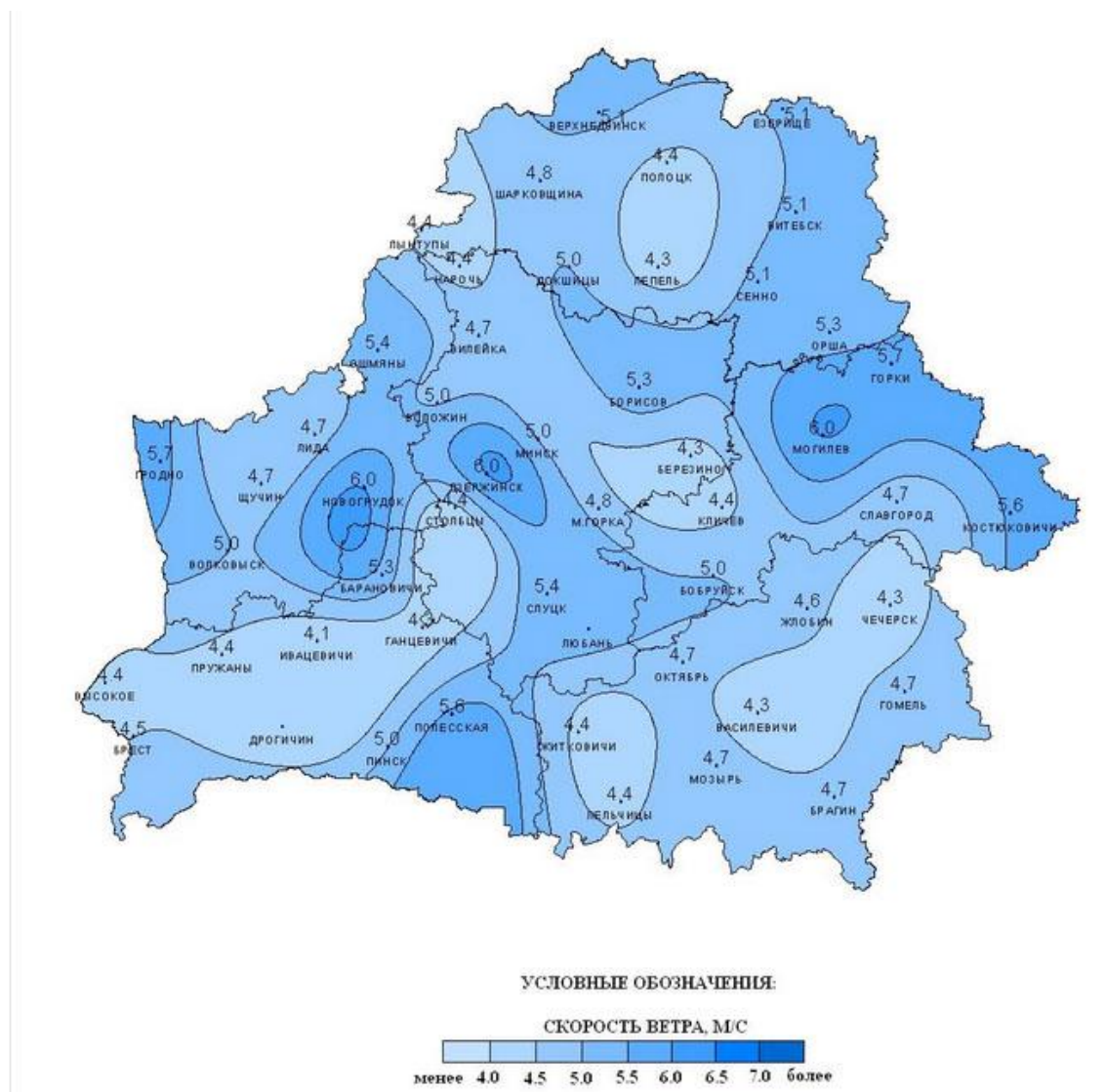


Рисунок 2 - Распределение расчетной скорости ветра на уровне 60 м в Беларуси

В целом программой предусмотрены довольно оптимистические прогнозы развития Белорусской ветроэнергетики. В какой мере они будут реализованы, покажет время. Несмотря на то, что в настоящий момент не все задуманные инвестиционные проекты удалось реализовать, государством активно ведутся мероприятия по привлечению инвестиций в возобновляемую энергетику.

К 2020 году Беларусь планирует довести долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в структуре валового потребления топливно-энергетических ресурсов до 6%.

Вместе с тем, государство не хочет переплачивать за "зеленую" электроэнергию. Так, деятельность компаний в этой сфере изменена.

Указом А.Г. Лукашенко предусматривается дифференцировать повышающие коэффициенты не только в зависимости от вида возобновляемых источников энергии, но и от иных параметров установок (электрическая мощность, срок службы оборудования на дату ввода установок в эксплуатацию и другие).

Энергетическая мощность нашей страны составляет 8,5 ГВт, а с вводом в строй АЭС составит 10,5 ГВт.



Рисунок 3 - Островецкая АЭС

Рассмотрим долю возобновляемых источников энергии в энергосистеме Беларуси.

Так, общая мощность существующих ГЭС в Республике Беларусь составляет 30 МВт, из них 17 МВт приходится на Гродненскую ГЭС, которая была введена в строй в 2012 году. В государственном плане – постройка четырех ГЭС на р. Западная Двина суммарной мощностью в 40 МВт и двух ГЭС на р. Днепр суммарной мощностью в 20-30 МВт.



Рисунок 4 - Гродненская ГЭС

В Беларуси немало площадок для размещения ветряных электростанций. Общая мощность установленных ветряков в нашей стране – около 10 МВт, причем 9 МВт

приходится на ВЭС в д. Грабники. В Республике Беларусь строительство ветряных электростанций осуществляется путем проведения тендера.

Известно, что компания «Белоруснефть» в ближайшем будущем построит ветропарки в д. Бурмаки (Минская обл.) общей мощностью до 50 МВт и в д. Лужище (Гродненская обл.) общей мощностью до 80 МВт.

Если основываться на метеорологических данных, то в Беларуси порядка 30-ти ясных солнечных дней в году, в то время как пасмурных -250. Интенсивность солнечного излучения составляет что-то порядка 2,8 кВт·ч/м².

Не густо, конечно, но и не надо полагать, что в развитых странах намного лучше обстоят дела. Картина примерно такая же в Германии, Японии и некоторых других странах. Это дает право сторонникам альтернативной энергии утверждать о возможности и необходимости развивать солнечную энергетику в Беларуси. Раз это могут делать страны Европы, то почему не можем мы? Надо сказать, что государство значительно продвинулось в этом направлении за последние годы, а вместе с этим уже стали появляться первые трудности. Что же касается солнечной энергетики, то согласно закона о возобновляемых источниках энергии РБ на покупку электрической энергии, выработанной фотоэлектростанциями, действует самый высокий коэффициент равный 3. Т.е. энергосистема обязана покупать у владельцев солнечных электростанций всю выработанную электроэнергию с данным повышающим коэффициентом в течение 10 лет. Согласно таблицам солнечной инсоляции, строительство солнечных электростанций целесообразно преимущественно на юге страны, что, в общем-то, естественно. С уже действующими объектами можно ознакомиться на сайте Министерства природных ресурсов (ссылка ниже). Как было сказано главным инженером ГПО «Белэнерго», А.А. Сиваком корреспондентам «СБ» уже принято решение о строительстве солнечных станций мощностью порядка 150 МВт в Гомельской и Могилевской областях. Однако увеличение числа альтернативных электростанций может негативно отразиться на конечном потребителе в виде увеличения тарифа.

Литература

1. <http://www.energya.by/kak-razvivayutsya-alternativnaya-energetika-v-belarusi/>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Биогаз>
3. <http://www.energya.by/gidroenergetika-v-belarusi-i-mire/>

УДК 620.92

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА КАК ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ

Деветьярова М.В, Зуева Е.С., Пестрак А

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Прежде чем нами будут обсуждаться технические аспекты применения SCADA-пакета PcVue в проектах компании Iberdrola Renovables в сфере ветроэнергетики, хотелось бы сказать несколько слов об этой своеобразной предметной области. Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра – кинетической энергии воздушных масс в атмосфере [1]. Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием деятельности солнца. Ветроэнергетика – бурно развивающаяся отрасль, так в конце 2009 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 157 гигаватт [2,3], увеличившись в шесть раз с 2000 года (таблица 1).

Таблица 1 - Основные суммарные установленные мощности, МВт, по странам мира

Страна	2005 г., МВт	2006 г., МВт	2007 г., МВт	2008 г., МВт	2009 г., МВт
США	9149	11603	16818	25170	35159
Германия	18428	20622	22247	23903	25777
Китай	1260	2405	6050	12210	25104
Испания	10028	11615	15145	16754	19149
Индия	4430	6270	7580	9645	10833
Италия	1718	2123	2726	3736	4850
Франция	757	1567	2454	3404	4492
Великобритания	1353	1962	2389	3241	4051
Португалия	1022	1716	2150	2862	3535
Дания	3122	3136	3125	3180	3465
Канада	683	1451	1846	2369	3319
Нидерланды	1224	1558	1746	2225	2229
Япония	1040	1394	1538	1880	2056
Австралия	579	817	817,3	1306	1668

Ветровая электростанция состоит из нескольких ветрогенераторов, структура которых показана на рисунке 1. Крупные ветровые электростанции могут состоять из 100 и более ветрогенераторов. Иногда ветровые электростанции называют ветряными фермами (от англ. Wind farm). На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1. Фундамент. 2. Силовой шкаф. 3. Башня. 4. Лестница. 5. Поворотный механизм. 6. Гондола. 7. Электрический генератор. 8. Система слежения за направлением и скоростью ветра (анемометр). 9. Тормозная система. 10. Трансмиссия. 11. Лопасты. 12. Система изменения угла атаки лопасти. 13. Колпак ротора. Кроме того, в состав ветрогенератора входят система пожаротушения, ПЛК, средства для передачи данных о работе ветрогенератора, центр управления и система молниезащиты. В каждой ветротурбине установлен блок управления, содержащий преобразователь мощности, платы управления, а также устройства ввода/вывода.

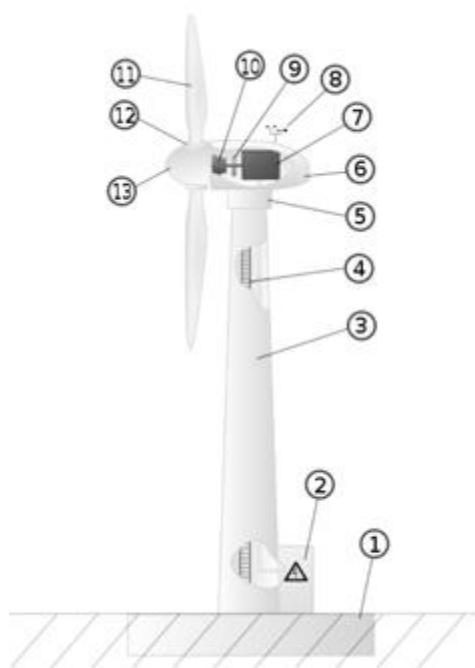


Рисунок 1 - Схема ветрогенератора

Компания Iberdrola Renovables (<http://www.iberdrolarenovables.es>) является мировым лидером в области производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии, в частности ветровой энергии. Iberdrola Renovables является вторым по величине поставщиком энергии в Северной Америке. В настоящее время доля компании на мировом рынке ветроэнергетики составляет 1/12 часть. В компании работают около 33 тыс. сотрудников в 40 странах. Основные внедрения реализованы в Испании и США.

В контексте осуществления процессов контроля и управления современными ветровыми электростанциями Iberdrola Renovables выбрала SCADA-пакет PcVue компании ARC Informatique за его надежность, масштабируемость и высокую производительность в среде архитектуры «клиент-сервер». Как и в любом серьезном современном SCADA-пакете, в PcVue имеются такие компоненты, как внутренняя или внешняя база данных реального времени и истории, мощный 2D- и 3D- графический редактор, генератор отчетов, встроенный язык программирования, поддержка Web-интерфейса («тонкий клиент»), средства разграничения прав доступа и поддержки версий проектов, подсистемы обработки тревог, событий, трендов реального времени и истории, аналитика и статистика, настройка языка интерфейса (русский, английский, французский, немецкий...), локализованная документация и подсказки, средства календарного планирования, рецепты, поддержка OPC-интерфейса и промышленных протоколов и многое другое. Другими словами, в PcVue, как одном из мировых лидеров на рынке, реализован весь современный «джентельменский набор» средств, присущий ведущим SCADA-пакетам.

Основная цель проектов компании Iberdrola Renovables – сделать доступным удаленный сбор информации от ветровых электростанций, особенно сигналов тревоги и исторических данных. Система управления на каждом объекте собирает основные оперативные данные от генераторов и различных подстанций. Эти системы подключаются к центрам управления ветровыми электростанциями CORE (Centro de Operacion de Renovables) с помощью систем дальней связи. CORE использует эти данные для выявления и диагностики потенциальных проблем, чтобы иметь возможность вмешаться в процесс функционирования с целью эффективного и оперативного решения возникающих проблем.

Датчики скорости и направления ветра, скорости вращения вала и множества других факторов выполняют сбор и передачу данных в ПЛК. Определяя направление ветра, система управления может применять механизированное устройство поворота для разворота всей

ветротурбины в требуемом направлении, обеспечивая максимальную выработку электроэнергии. Все ветротурбины подключаются к локальной сети, при этом блок управления каждой анемометрической вышки использует стандарт Ethernet для подключения к основанию вышки, в которой имеется волоконное резервное кольцевое подключение к локальной сети. Локальная сеть подключается к CORE, включающему систему управления, которая регулирует и собирает данные, настраивает параметры турбины и обеспечивает интеллектуальную систему сигнализации, поиск и устранение неисправностей, а также выдачу отчетов. Этот центр управления оборудован SCADA-пакетом PcVue, который является нервным узлом системы управления ветровыми электростанциями. CORE аккумулирует данные от отдельных турбин, подстанций, метеорологических станций, авиационного радара для обнаружения птиц и летучих мышей, и другие системы наблюдения за охраной природы. Оператор CORE может наблюдать за работой всех ветровых электростанций как за одним целым. Регистрируя события, PcVue позволяет оператору определить, какие действия по настройке и исправлению должны быть предприняты.

Iberdrola Renewables использует многие типы турбин, и каждый поставщик турбин предоставляет собственную систему управления/HMI. Основное преимущество использования PcVue в качестве основной SCADA-системы состоит в том, что она не связана ни с одним поставщиком ПЛК, поэтому она работает независимо от типа турбины. Особо важное значение для Iberdrola имеет тот факт, что операторы ветровой электростанции могут применять различные типы турбин и разные ПЛК.

В процессе разработки команде Iberdrola понравилась простота конфигурирования PcVue. Ее способность свертывания в пиктограмму анимированных мнемосхем и применение всплывающих окон снизила риск наложения критической информации и помогла упростить команде Iberdrola просмотр. Кроме того, создание шаблонов для содержания и поведения, связанных с каждой мнемосхемой и анимацией GUI (графический интерфейс пользователя), обеспечивает согласованность отображения окон. Для получения данных от различных ПЛК Iberdrola Renewables использует протокол связи OPC (и другие). Для обмена данными в реальном времени со шлюзами Iberdrola применяет OPC Data Access Client и OPC DA XML Client, а для упрощения обмена данными со сторонними приложениями применяется OPC DA Server. Все собранные данные направляются в центр управления.

«PcVue признана надежной, масштабируемой и простой в конфигурировании. PcVue предоставляет единое пользовательское представление, которое обеспечивает наглядное отображение и общее управление бесчисленными локальными системами, состоящими из ПЛК, HMI и систем управления, установленных на турбинах, – утверждает Харм Торен, глава оперативно-производственной службы Iberdrola Renewables в США. – Так как в дополнение к контролю и управлению нашими турбинами мы наблюдаем за перемещением авиации и погодой, то нам требуется система, которая обеспечит простой и удобный для чтения GUI, чтобы мы смогли отреагировать по первому требованию. Более того, программа PcVue уже доказала свое удобство и высокую функциональность в Испании».

Ранее каждая ветровая электростанция контролировалась с помощью одной локальной SCADA-станции, и операторы, как правило, направляли в центр данные по телефону. Все необходимые данные сохранялись на диске, который затем передавался теми, кто сделал такую запись данных. Для удаленного мониторинга ветровых электростанций и также для дистанционного управления посредством специализированной сети VSAT Iberdrola Renovables стала устанавливать в CORE SCADA-систему PcVue и несколько тонких клиентов FrontVue. PcVue и FrontVue работают в среде Windows и способны управлять миллионами точек ввода/вывода в оперативном режиме от тысяч устройств. PcVue-FrontVue в CORE применены для того, чтобы предоставить операторам всю необходимую информацию, касающуюся сигналов тревог от турбин. Клиентскими станциями FrontVue

контролируются до 1,5 миллиона точек данных, которые взаимодействуют через OPC и резервированные гигабитные каналы сети TCP/IP Ethernet.

Каждый клиент FrontVue может принимать до 70 000 точек ввода/вывода. В настоящее время установлены десятки серверов PcVue, которые управляют миллионами переменных реального времени и сетью, которая может быть масштабирована без ограничений или структурных изменений. С помощью архитектуры PcVue-FrontVue операторы могут детально проанализировать данные от удаленных ветровых электростанций. Учитывая огромный объем данных (около 350 точек на одну турбину), для простоты технического обслуживания мониторинг осуществляется на двух уровнях:

- верхний уровень дает панорамный вид наиболее важных тревог, значений данных и счетчиков, как того требует мониторинг турбин, и для выявления сбоев, требующих вмешательства;

- следующий уровень является более подробным с целью обеспечить возможность более глубокого анализа всех данных от турбин так, чтобы операторы могли немедленно и точно диагностировать проблемы и принять соответствующие меры.

Решения, реализованные с помощью программного обеспечения SCADA PcVue, позволяют заметно сократить расходы на обслуживание при централизации всей информации от дистанционно управляемых ветровых электростанций.

Центр управления ветровыми электростанциями в Испании

Центр управления ветровыми электростанциями (CORE) компании Iberdrola Renovables находится в Толедо, в 70 км к югу от Мадрида, и дистанционно управляет десятью ветровыми электростанциями во всех регионах Испании, которые суммарно генерируют 9600 МВт энергии. Если посмотреть данные в табл. 1, то мы увидим, что это составляет около половины всей генерируемой ветровыми электростанциями энергии в Испании. Линия связи предоставлена частной спутниковой сетью. CORE несет ответственность за эти электростанции с точки зрения генерации электроэнергии, ее распределения и управления. Кроме того, Iberdrola Renovables обеспечивает услуги, включающие управление проектами, инжиниринг, поставку, строительство и оперативную поддержку. Цель Iberdrola Renovables – предоставление услуг без каких-либо географических ограничений.

Клиентскими станциями FrontVue контролируются до 2,5 миллиона точек данных, которые общаются через OPC-протокол со скоростью 1 Гбит/с по резервированным каналам Ethernet TCP/IP. Каждое операторское место может обрабатывать до 70 000 точек ввода/вывода. В настоящее время внедрена следующая конфигурация: 13 файл-серверов PcVue, которые управляют миллионом переменных в реальном времени. Сеть может быть расширена без ограничений или структурных изменений.

Используя архитектуру PcVue-FrontVue, операторы могут проанализировать данные от удаленных ветровых электростанций детальным образом. Они всегда держат ситуацию под контролем и могут выполнить корректирующие действия в нужный момент в случае отклонений в работе. В системе собираются текущие значения, исторические данные, тревоги и тренды.

Национальный Центр управления ветровыми электростанциями в США

PcVue используется для наблюдения за ветровыми электростанциями в США, вырабатывающими 3877 МВт энергии ветра для более чем 41 независимых ветровых электростанций. Каждая из 2479 ветротурбин обеспечивает от 300 до 350 точек, данных, что приблизительно составляет от 700 000 до 850 000 точек данных ввода/вывода примерно на двух десятках серверов. Самой последней разработкой Iberdrola Renewables является ее Национальный центр управления (CORE) в г. Портланде, штат Орегон. В зале, который выглядит как Центр управления полетами НАСА, системные аналитики следят за каждой турбиной каждой ветровой электростанции США. Они наблюдают за работой и производительностью турбин и за приближающимися штормами, чтобы предупредить обслуживающий персонал об опасности. Кроме уже введенных в эксплуатацию объектов,

компанией Iberdrola Renewables реализуются несколько новых проектов на 850 МВт и 1000 МВт.

Литература

1. Ветроэнергетика. Материал из Википедии. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика>
2. Global installed wind power capacity 2008/2009 (MW), http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf
3. Global Wind Installations Boom, Up 31% in 2009. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/02/global-wind-installations-boom-up-31-in-2009>
4. Золотарев С.В. SCADA-пакет PcVue как интегрирующая платформа в системах мониторинга и управления процессами: результаты и основные тренды, Автоматизация зданий. 2010. № 3–.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ГЕНЕРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Сороко В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладько Ю.В.

ПЕРЕНОС ФАЙЛОВ ИЗ ELECTRONICS WORKBENCH В MULTISIM

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладько Ю.В.

ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Гончарова Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Зеленко В.В.

ЭНЕРГЕТИКА ШВЕЦИИ

Сокол Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ПОДВЕСКЕ

Юхневич М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

ТРЕХМЕРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Спода А.Е. Дашковский А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

ЗАЩИЩЕННАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ QNX

Мансурова Ю.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

САПФИР

Середюк С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ

Сазонов П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРОСТЫХ РАДИОМИКРОФОНОВ

Джема Л.М., Макарова А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

СХЕМОТЕХНИКА ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Чурак Н.В., Павлюченко З.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПИРАЕМЫХ ТИРИСТОРОВ

Ржеусская А.Д., Корнюшко О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

АНТИЛАЗЕРЫ

Кулага Т.А., Прокопенко К.В., Валендюк М.И.
Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

ДОРОГИ, ВЫРАБАТЫВАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

ИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Грицук А. А., Ковалёва К. И.
Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О. А.

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Саков С.А., Подвойская А.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

Пукало М. И., Салява Н. А
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Быков К.Ю.
Научный руководитель - старший преподаватель Германович Е.И.

ВИДЫ ДИСПЛЕЕВ

Дубовская С.О., Татаревич М.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗАГОРОДНОГО ДОМА

Дергачёва М.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

БИО БАТАРЕИ

Немкович Е.Г., Тиханович С.В., Шакинко А.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Логвинов М.Д.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ПОДБОР АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Разуменко А.А., Ермолаев А.С.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

Белькевич А.А., Неклюдов В.В., Носков П.Д.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

БЕСКОНТАКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Подиев Н. Ю.
Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е. И.

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Сивец М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОРАЗМЕРНОГО КРЕМНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Ковалевич В.С.

Научный руководитель - старший преподаватель Германович Е.И.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Довыденко В.А., Петрович М.В., Шевчук А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Ванюк Э.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

ДАТЧИКИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Ошурек М.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

Брюханов И. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ И ИНВЕРТОРОВ В СИСТЕМЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Серов Н.В., Царик Е.В., Филев А.В.

Научные руководители – старшие преподаватели Михальцевич Г.А.,

Пекарчик О.А.

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА РЕВЕРБЕРАТОРОВ

Демиденко А. С., Хлиманкова О. О.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г. А.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Денисевич Т. А.

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

УДК 621.316.38

ГЕНЕРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Сороко В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладыко Ю.В.

Электронная лаборатория Electronics Workbench [1] – наиболее популярная и эффективная программа для визуального моделирования электрических и электронных схем, обладающая дружелюбным интерфейсом. При использовании программы были обнаружены недостатки: в программе нельзя задать ненулевые начальные значения. Несмотря на заявленную возможность задания начальных условий (Analysis Options -> Initial conditions -> User-defined), в программе нельзя задать напряжения конденсаторов и токи индуктивных катушек (рис. 1). Моделирование начинается с расчета схемы на постоянном токе, в результате которого устанавливаются нулевые начальные условия. При моделировании генераторов колебаний цепь не возбуждается, так как напряжения всех узлов равны нулю, схема находится в состоянии неустойчивого равновесия, генерации сигналов нет.

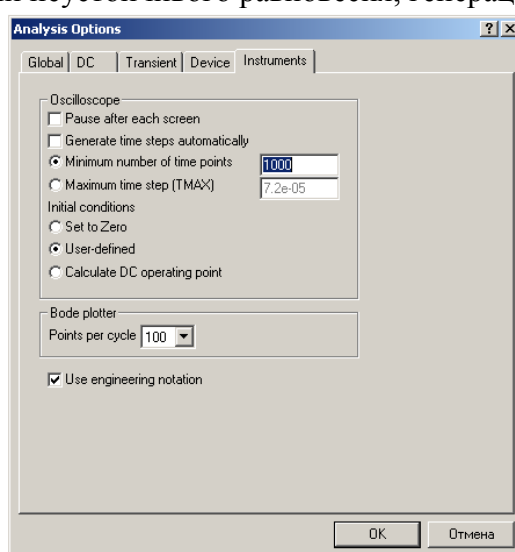


Рисунок 1 – Задание начальных условий

Вывести схему из состояния равновесия помогают запускающие цепи, предназначенные для кратковременной подачи импульса ключом с временной задержкой Time-Delay Switch (рис. 2).

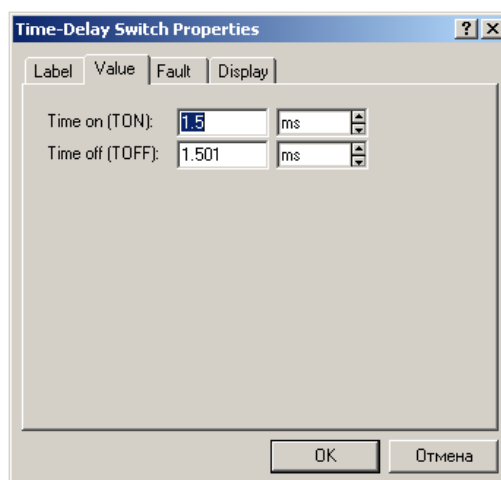


Рисунок 2. Параметры ключа с временной задержкой Time-Delay Switch

Такая запускающая цепочка использована в схеме RC-генератора гармонических колебаний с мостом Вина на операционном усилителе (ОУ) (рис. 3). Работа генератора показана на осциллографе (рис. 4).

Генератор гармонических колебаний с мостом Вина

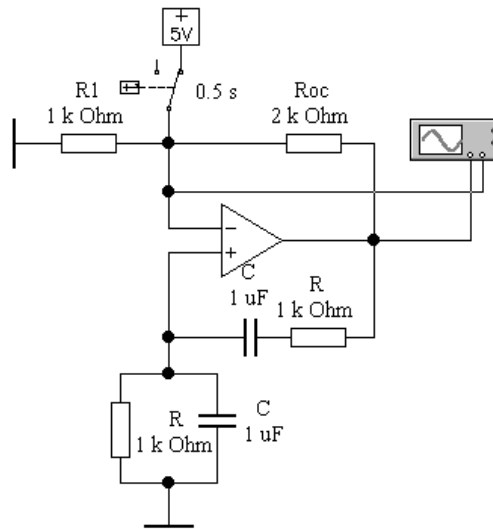


Рисунок 3. Генератор гармонических колебаний с мостом Вина с запускающей цепью на инвертирующем входе

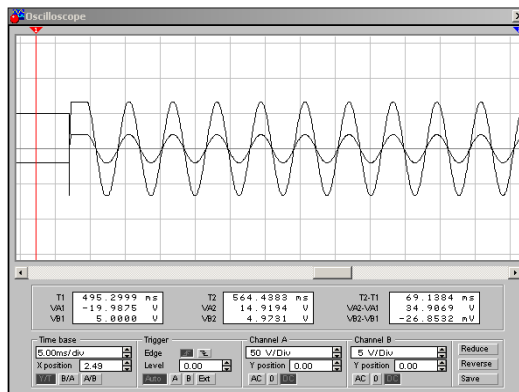


Рисунок 4. Возбуждение колебаний в генераторе гармонических колебаний с мостом Вина

Запускающая цепочка может подключаться к любой точке схемы (рис. 5). Временные диаграммы приведены на рис. 6.

Генератор гармонических колебаний с мостом Вина

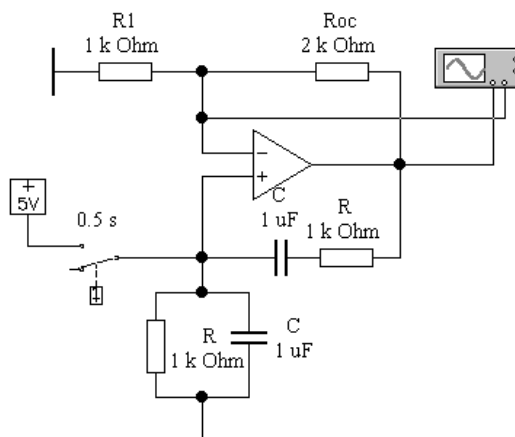


Рисунок 5. Генератор гармонических колебаний с мостом Вина с запускающей цепью на неинвертирующем входе

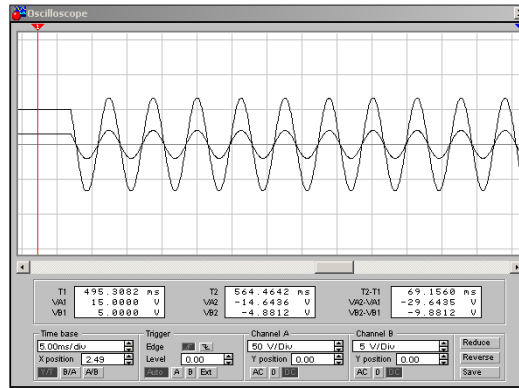


Рисунок 6. Запуск генератора гармонических колебаний с мостом Вина

Кратковременная подача импульса помогает запустить мультивибратор на ОУ (рис. 7).

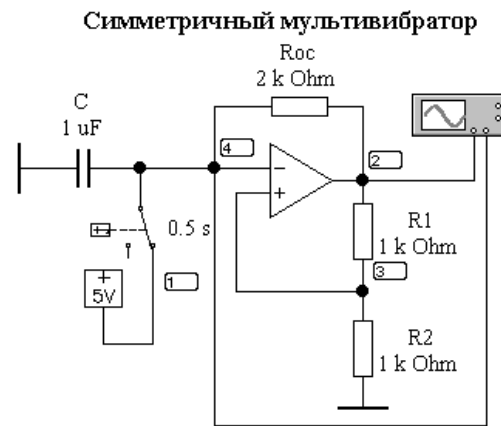


Рисунок 7. Мультивибратор на ОУ

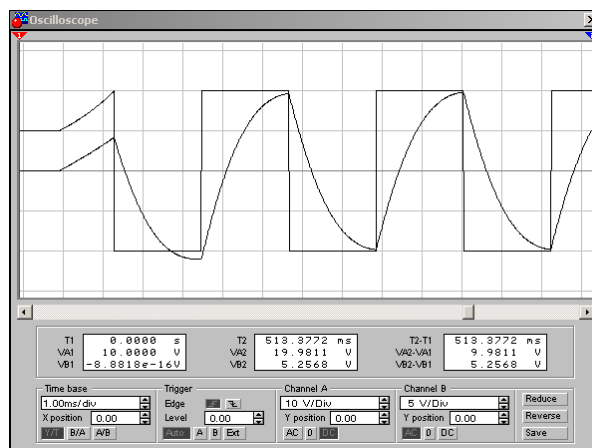


Рисунок 8. Работа мультивибратора на ОУ

Время срабатывания ключа с временной задержкой Time-Delay Switch (рис. 9) влияет на переходной процесс, но не влияет на установившийся режим, частоту и период колебаний (рис. 10).

Несимметричный мультивибратор

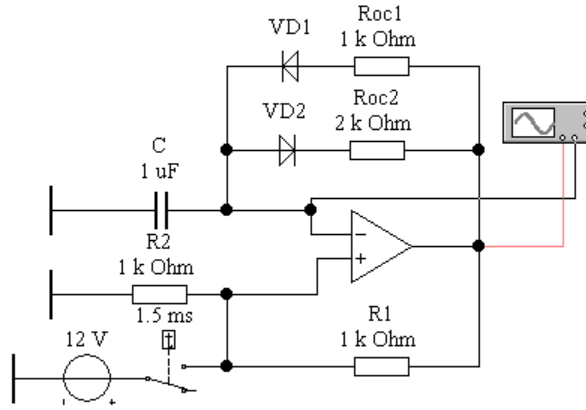


Рисунок 9. Несимметричный мультивибратор на ОУ

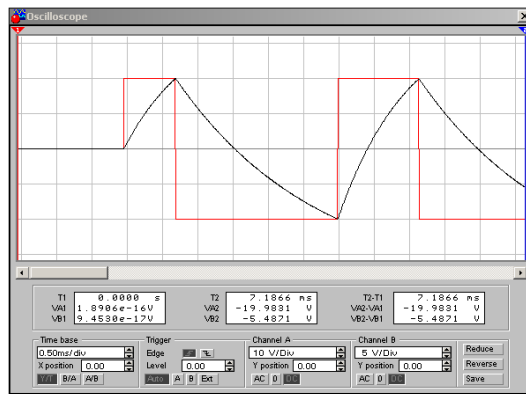


Рисунок 10. Запуск мультивибратора на ОУ

Одновибратор на ОУ запускается только импульсами (рис. 11). Две запускающие цепочки позволяют ждущему мультивибратору совершить два цикла колебаний (рис. 12).

Одновибратор на ОУ

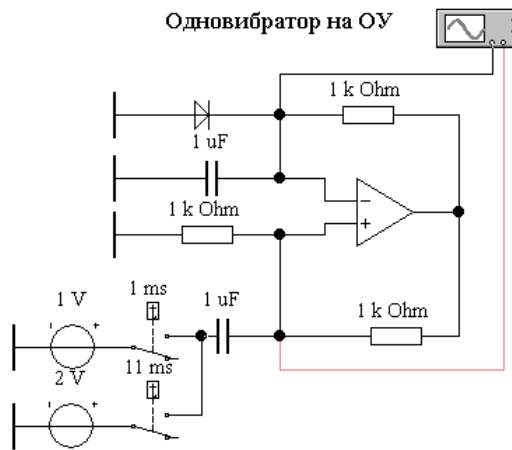


Рисунок 11. Одновибратор на ОУ

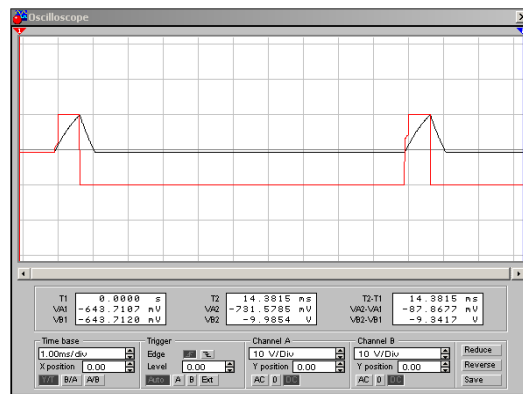


Рисунок 12. Запуск одновибратора на ОУ

Литература

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.– 800 с.
2. Бладыко Ю.В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016.– 190 с.

УДК 621.38

ПЕРЕНОС ФАЙЛОВ ИЗ ELECTRONICS WORKBENCH В MULTISIM

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладыко Ю.В.

Electronics Workbench (EWB) – мощная программа для моделирования процессов и расчета электронных устройств на аналоговых и цифровых элементах. Последние версии программы носят название Multisim. Это, по сути, та же программа с новым интерфейсом и с большим количеством функций.

В Multisim поддерживаются работы, созданные в более старых версиях данной программы, в том числе и в EWB. Это происходит за счет встроенного в программу конвертера формата работ. Однако конвертер не всегда работает корректно.

При переносе простейших работ никаких проблем не возникает. Однако при переносе некоторых работ возникают определенные трудности, обусловленные несколько иным принципом работы программной части. К примеру, Multisim более критична к наличию незаземленных нейтралей, чем EWB, иногда возникает необходимость настройки осциллографа (изменить пределы поля осциллографа, поменять местами оси абсцисс и ординат и т.п.), но данные проблемы легко решаются.

Проблемы при переносе, связанные с различием в кодировке программы, помогает решить встроенный помощник сходимости Multisim, который исправляет ошибки, связанные с некорректным заданием элементов схемы (например, задание минимальной проводимости, предела итераций, относительной погрешности и т.п.).

На рисунках 1-4 показаны этапы перехода из Electronics Workbench в Multisim на примере файла с последовательным соединением диодов с включением измерительных приборов, ключей и шунтирующих резисторов.

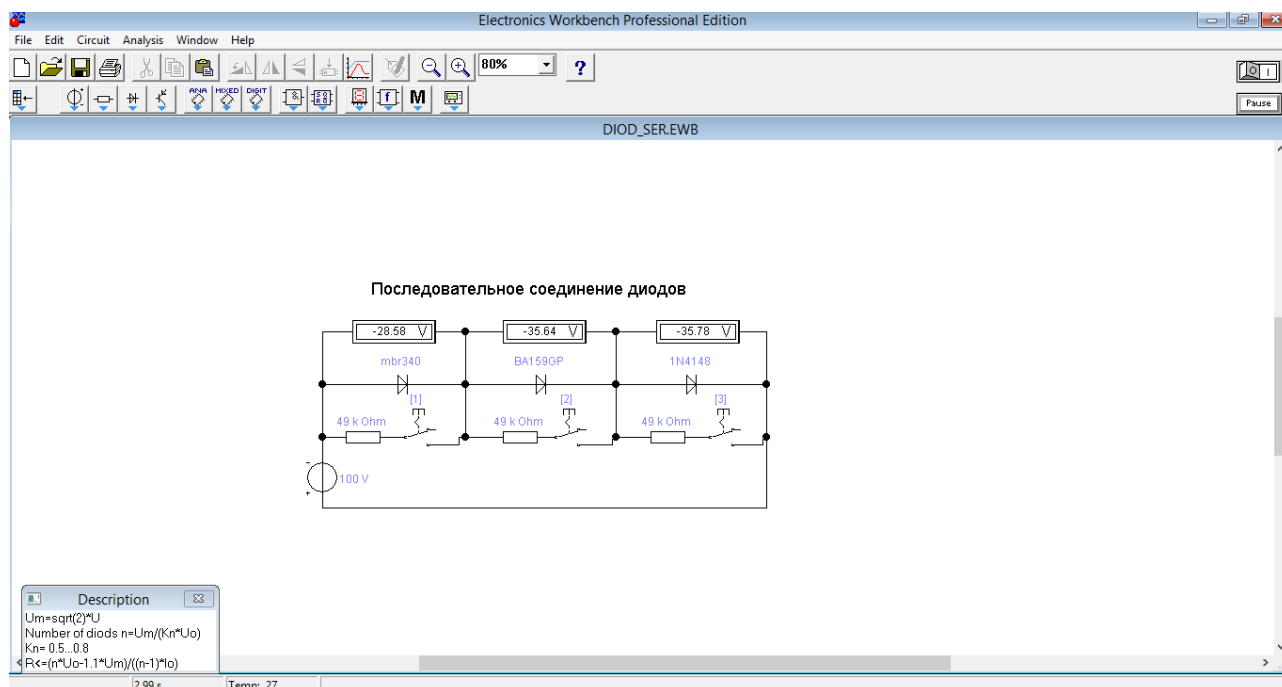


Рисунок 1. Файл в Electronics Workbench

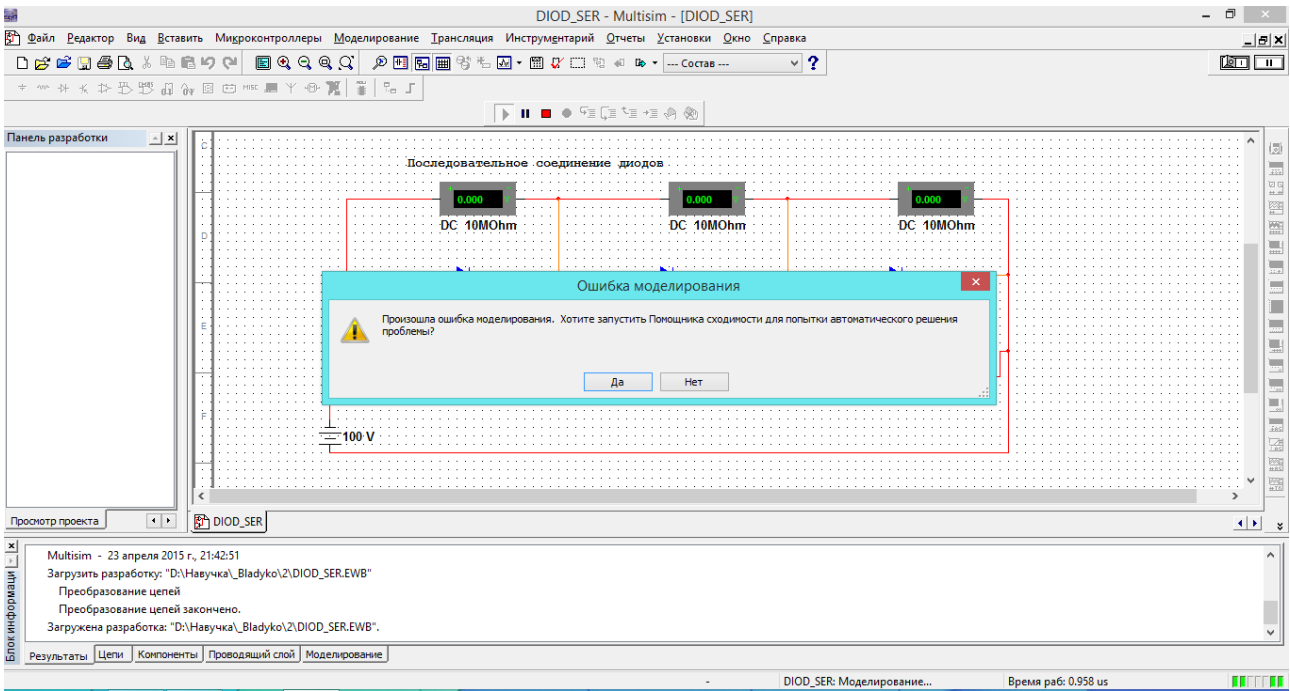


Рисунок 2. Файл в Multisim открывается с сообщением об ошибке

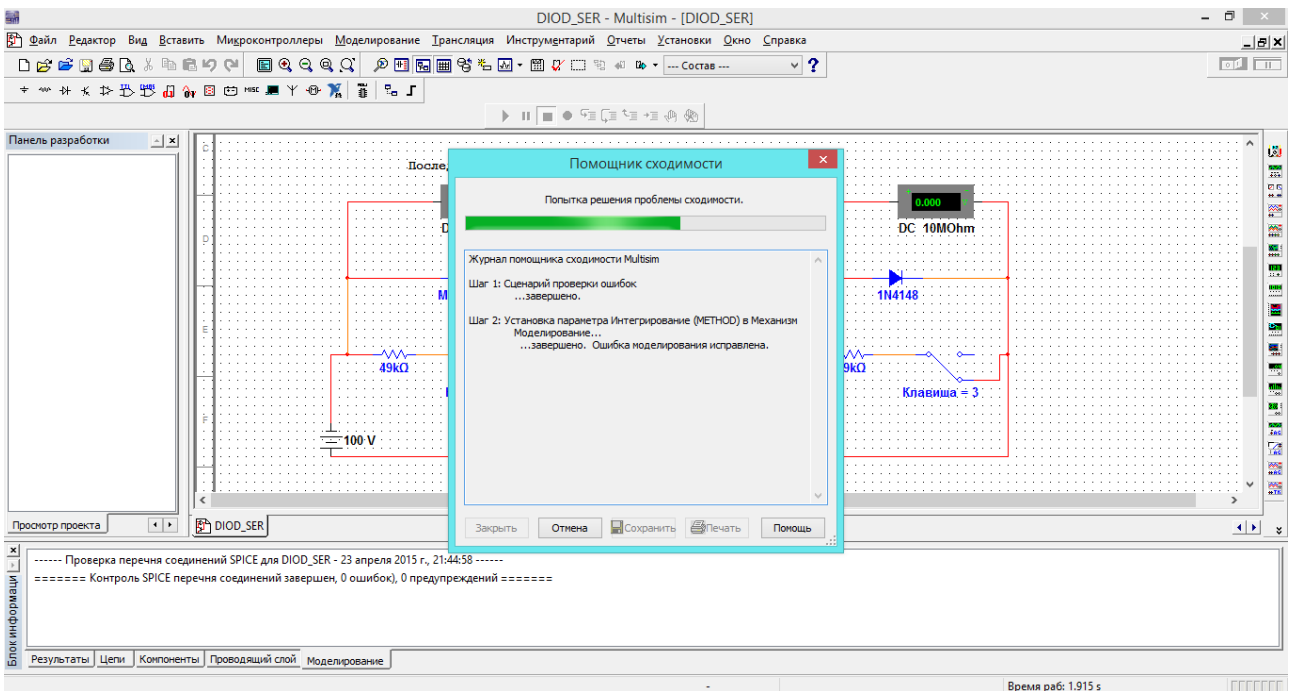


Рисунок 3. Исправление ошибки в Multisim с помощью помощника сходимости

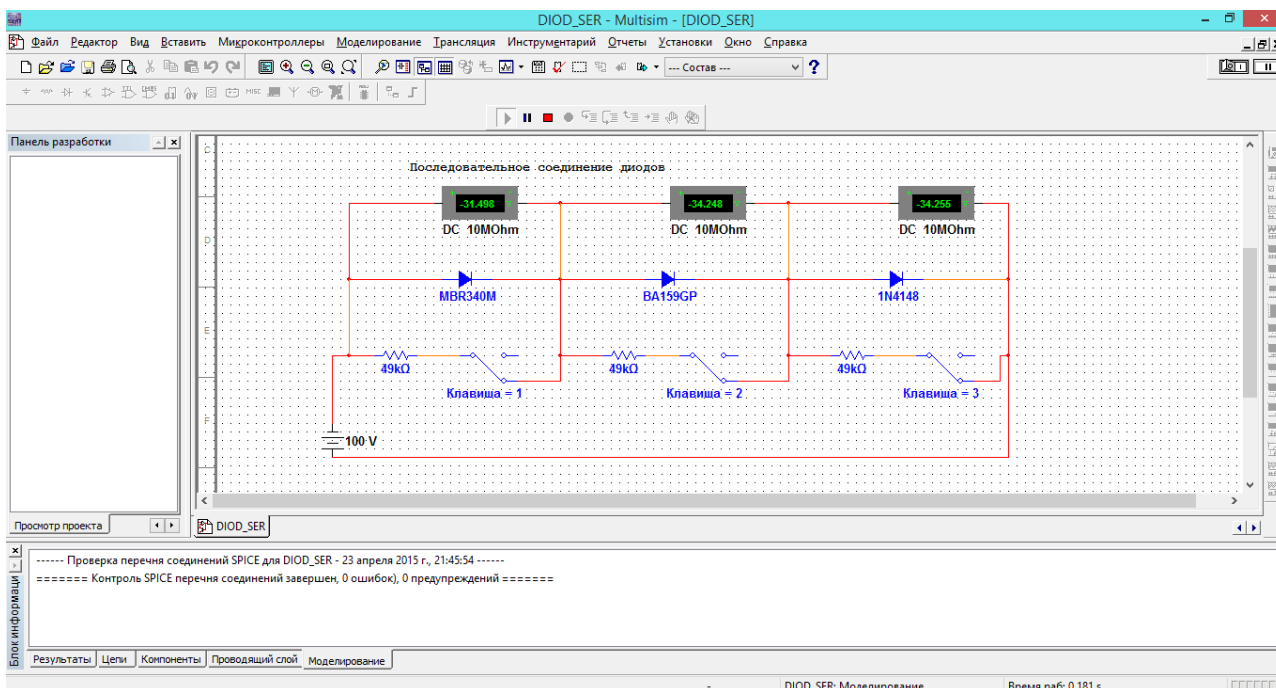


Рисунок 4. Файл в Multisim после завершения работы над ошибками

Однако не все проблемы данного рода может решить помощник сходимости, так как не все проблемы переноса известны разработчикам. По той же причине существуют работы, которые перенести из EWB в Multisim невозможно. В таком случае возможно лишь создать файл заново. Данные проблемы могут быть исправлены в более новых версиях программы.

УДК 621.3

ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Гончарова Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Зеленко В.В.

При эксплуатации асинхронных электродвигателей, как и любого другого электрооборудования, могут возникнуть неполадки - неисправности, часто приводящие к аварийному режиму работы, повреждению двигателя, преждевременному выходу его из строя.

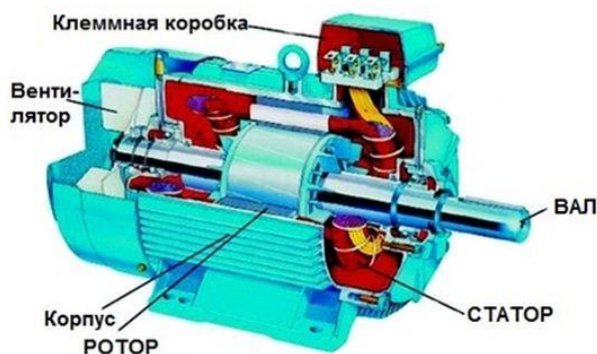


Рисунок 1 Асинхронный электродвигатель

Прежде, чем перейти к способам защиты электродвигателей стоит рассмотреть основные и наиболее частые причины возникновения аварийной работы асинхронных электродвигателей: Однофазные и межфазные короткие замыкания - в кабеле, клеммной коробке электродвигателя, в обмотке статора (на корпус, межвитковые замыкания).

Короткие замыкания - наиболее опасный вид неисправности в электродвигателе, т. к. сопровождается возникновением очень больших токов, приводящих к перегреву и сгоранию обмоток статора.

Тепловые перегрузки электродвигателя - обычно возникают, когда вращение вала сильно затруднено (выход из строя подшипника, попадание мусора в шнек, запуск двигателя под слишком большой нагрузкой, либо его полная остановка).

Частой причиной тепловой перегрузки электродвигателя, приводящей к ненормальному режиму работы является пропадание одной из питающих фаз. Это приводит к значительному увеличению тока (в два раза, превышающего номинальный) в статорных обмотках двух других фаз.

Результат тепловой перегрузки электродвигателя - перегрев и разрушение изоляции обмоток статора, приводящее к замыканию обмоток и негодности электродвигателя.

Защита электродвигателей от токовых перегрузок заключается в своевременном обесточивании электродвигателя при появлении в его силовой цепи или цепи управления больших токов, т. е. при возникновении коротких замыканий. Для защиты электродвигателей от коротких замыканий применяют плавкие вставки, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем, подобранные таким образом, чтобы они выдерживали большие пусковые сверхтоки, но незамедлительно срабатывали при возникновении токов короткого замыкания.

Для защиты электродвигателей от тепловых перегрузок в схему подключения электродвигателя включают тепловое реле, имеющее контакты цепи управления - через них подаётся напряжение на катушку магнитного пускателя. При возникновении тепловых перегрузок эти контакты размыкаются, прерывая питание катушки, что приводит к возврату группы силовых контактов в исходное состояние - электродвигатель обесточен.

Простым и надёжным способом защиты электродвигателя от пропадания фаз будет добавление в схему его подключения дополнительного магнитного пускателя.



Рисунок 2 Тепловое реле пускателя

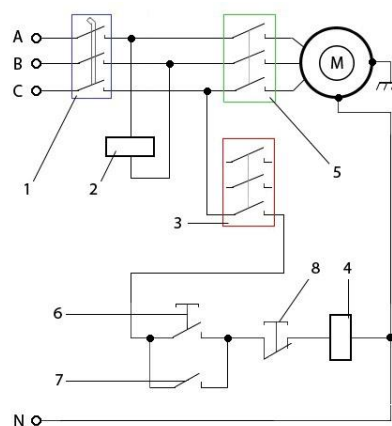


Рисунок 3 Схема подключения дополнительного магнитного пускателя

Включение автоматического выключателя 1 приводит к замыканию цепи питания катушки магнитного пускателя 2 (рабочее напряжение этой катушки должно быть ~ 380 в) и замыканию силовых контактов 3 этого пускателя, через который (используется только один контакт) подаётся питание катушки магнитного пускателя 4.

Включением кнопки «Пуск» 6 через кнопку «Стоп» 8 замыкается цепь питания катушки 4 второго магнитного пускателя (её рабочее напряжение может быть, как 380, так и 220 в), замыкаются его силовые контакты 5 и на двигатель подаётся напряжение. При отпускании кнопки «Пуск» 6 напряжение с силовых контактов 3 пойдет через нормально разомкнутый блок-контакт 7, обеспечивая неразрывность цепи питания катушки магнитного пускателя.

Современные виды защит асинхронных электродвигателей

Защита асинхронных электродвигателей от перегрева традиционно реализуется на основе, тепловой токовой защиты. В подавляющем большинстве двигателей, находящихся в эксплуатации, используется тепловая токовая защита, которая недостаточно точно учитывает фактические температурные режимы работы электродвигателей, а также его температурные постоянные времени.

В косвенной тепловой защите асинхронного электродвигателя биметаллические пластины включают в цепи питания статорных обмоток асинхронного электродвигателя, а при превышении максимально допустимого тока статора, биметаллические пластины, нагреваясь, отключают питание статора от источника электроэнергии.

Недостатком этого метода является то, что защита реагирует не на температуру нагрева обмоток статора, а на количество выделенного тепла без учета времени работы в зоне перегрузок и реальных условий охлаждения асинхронного электродвигателя. Это не позволяет в полной мере использовать перегрузочную способность электродвигателя и снижает производительность оборудования, работающего в повторно-кратковременном режиме из-за ложных отключений.

Сложность конструкции тепловых реле, недостаточно высокая надежность систем защиты на их основе, привели к созданию тепловой защиты, реагирующей непосредственно на температуру защищаемого объекта. При этом датчики температуры устанавливаются на обмотке двигателя.

Термочувствительные защитные устройства: термисторы, позисторы.

В качестве датчиков температуры получили применение термисторы и позисторы - полупроводниковые резисторы, изменяющие свое сопротивление от температуры.. Термисторы представляют собой полупроводниковые резисторы с большим отрицательным

ТСК. При увеличении температуры сопротивление термистора уменьшается, что используется для схемы отключения двигателя. Для увеличения крутизны зависимости сопротивления от температуры, термисторы, наклеенные на три фазы, включаются параллельно (рисунок 4).

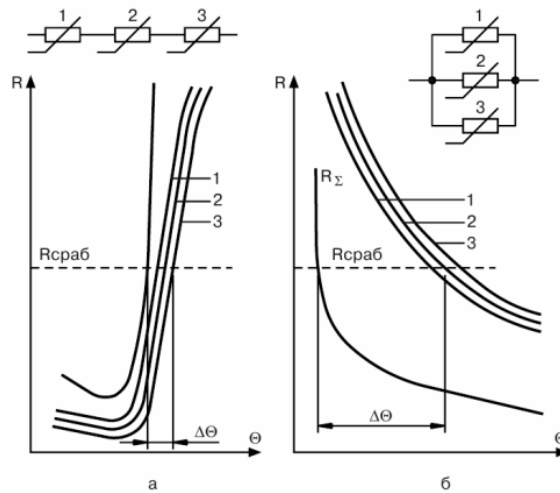


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления позисторов и термисторов от температуры: а – последовательное соединение позисторов; б – параллельное соединение термисторов

Позисторы являются нелинейными резисторами с положительным ТСК. При достижении определенной температуры сопротивление позистора скачкообразно увеличивается на несколько порядков.

Для усиления этого эффекта позисторы разных фаз соединяются последовательно. Характеристика позисторов показана на рисунке.

Защита с помощью позисторов является более совершенной. В зависимости от класса изоляции обмоток двигателя берутся позисторы на температуру срабатывания =105, 115, 130, 145 и 160. Эта температура называется классификационной. Позистор резко меняет сопротивление при температура за время не более 12 с. При сопротивлении трёх последовательно включенных позисторов должно быть не более 1650 Ом, при температуре их сопротивление должно быть не менее 4000 Ом.

Гарантийный срок службы позисторов 20000 ч. Конструктивно позистор представляет собой диск диаметром 3.5 мм и толщиной 1 мм, покрытый кремне-органической эмалью, создающей необходимую влагостойкость и электрическую прочность изоляции.

Рассмотрим схему позисторной защиты, показанную на рисунке 5.

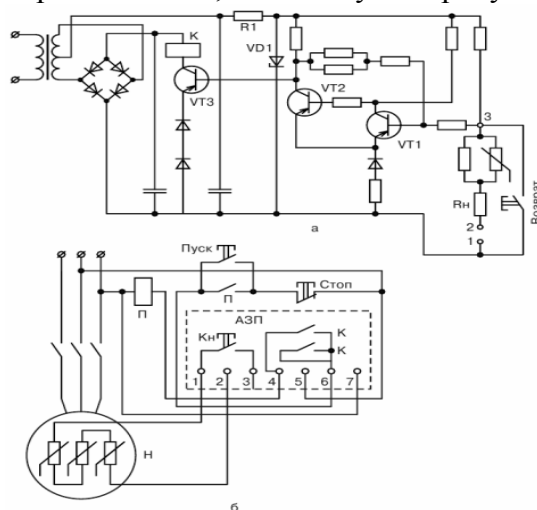


Рисунок 5 – Аппарат позисторной защиты с ручным возвратом: а – принципиальная схема; б – схема подключения к двигателю

К контактам 1, 2 схемы (рисунок 5, а) подключаются позисторы, установленные на всех трёх фазах двигателя (рисунок 5, б). Транзисторы $VT1$, $VT2$ включены по схеме триггера Шмидта и работают в ключевом режиме. В цепь коллектора транзистора $VT3$ конечного каскада включено выходное реле К, которое воздействует на обмотку пускателя.

При нормальной температуре обмотки двигателя и связанных с ним позисторов сопротивление последних мало. Сопротивление между точками 1-2 схемы также мало, транзистор $VT1$ закрыт (на базе малый отрицательный потенциал), транзистор $VT2$ открыт (большой потенциал). Отрицательный потенциал на коллекторе транзисторе $VT3$ мал, и он закрыт. При этом ток в обмотке реле К недостаточен для его срабатывания.

При нагреве обмотки двигателя сопротивление позисторов увеличивается, и при определенном значении этого сопротивления отрицательный потенциал точки 3 достигает напряжения срабатывания триггера. Релейный режим триггера обеспечивается эмиттерной обратной связью (сопротивление в цепи эмиттера $VT1$) и коллекторной обратной связью между коллектором $VT2$ и базой $VT1$. При срабатывании триггера $VT2$ закрывается, а $VT3$ - открывается. Срабатывает реле К, замыкая цепи сигнализации и размыкая цепь электромагнита пускателя, после чего обмотка статора отключается от напряжения сети.

После охлаждения двигателя его пуск возможен после нажатия кнопки «возврат», при котором триггер возвращается в начальное положение.

В современных электродвигателях позисторы защиты устанавливаются на лобовой части обмоток двигателя. В двигателях прежних разработок позисторы можно приклеивать к лобовой части обмоток.

Достоинства и недостатки термисторной (позисторной) защиты

Термочувствительная защита электродвигателей предпочтительней в тех случаях, когда по току невозможно определить с достаточной точностью температуру электродвигателя.

Это касается, прежде всего, электродвигателей с продолжительным периодом запуска, частыми операциями включения и отключения (повторно-кратковременный режим работы) или двигателей с регулируемым числом оборотов (при помощи преобразователей частоты). Термисторная защита эффективна также при сильном загрязнении электродвигателей или выходе из строя системы принудительного охлаждения.

Недостатками термисторной защиты является то, что с термисторами или позисторами выпускаются далеко не все типы электродвигателей. Это особенно касается электродвигателей отечественного производства. Термисторы и позисторы могут устанавливаться в электродвигатели только в условиях стационарных мастерских. Температурная характеристика термистора достаточно инерционна и сильно зависит от температуры окружающей среды и от условий эксплуатации самого электродвигателя.

Термисторная защита требует наличия специального электронного блока: термисторного устройства защиты электродвигателей, теплового или электронного реле перегрузки, в которых находятся блоки настройки и регулировки, а также выходные электромагнитные реле, служащие для отключения катушки пускателя или электромагнитного расцепителя.

Литература

1. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: Учеб. для вузов / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов.-М.:Издательство «Колосс», 2008.-655с.
2. Зимин Е. Н. Защита асинхронных двигателей до 500 В. Изд. 2-е, переработ, и доп. М.— Л., изд-во «Энергия», 1967. - 88 с. с черт. (Библиотека электромонтера. Вып. 209)

УДК 621.316.35

ЭНЕРГЕТИКА ШВЕЦИИ

Сокол Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Шведы имеют славу самой "зеленой" нации Европы. Они давно и целенаправленно пытаются соскочить с нефтяной иглы, на которой сидит вся современная экономика. И, как ни удивительно, это им почти удалось.

После энергетического кризиса правительству пришлось срочно искать решение проблемы.

Первый шаг был очевиден - экономия. Благо, большинство предприятий в Швеции оставались частными, а потому хозяева были кровно заинтересованы в бережном отношении к столь дорогим теперь энергоресурсам. По всей Швеции предприниматели стали активно инвестировать в энергосберегающие технологии. За 10 лет потребление энергии удалось сократить почти на 30%.

Но практичные шведы рассуждали по-другому: северная страна с 9-миллионным населением, лишенная собственных запасов горючих ископаемых, неизбежно будет зависеть от скачков цен на мировом рынке энергоносителей, и никто не может гарантировать, что кризис 70-х не повторится и не будет еще более глубоким. В логике здесь, кстати, не откажешь - с 1996 года цены на нефть УЖЕ выросли в 3 раза.

Предложенное шведским правительством решение впечатляло своей простотой: если у нас нет своей нефти, значит надо сделать так, чтобы она нам была вообще не нужна.

В первую очередь серьезные изменения коснулись национальной энергетики. Правительство сделало ставку на развитие системы АЭС. Сегодня действующие в стране 10 атомных реакторов обеспечивают примерно половину производства электроэнергии в Швеции. Почти 40% дают гидроэлектростанции. На долю угля, нефти и газа, таким образом, остается всего 10%.

Потом взялись за отопление. Швеция – страна северная, и вопрос этот для нее отнюдь не праздный. При поддержке государства муниципальные учреждения, а также дома обычных граждан стали переходить на использование геотермальной энергии и тепловых отходов. В итоге за 20 лет уровень экономии нефтепродуктов на производстве тепла шведы сумели довести до 70%!

Соответствующие государственные гранты предоставлялись в первую очередь больницам и библиотекам. Сегодня налоговыми льготами "за отказ от нефти" могут воспользоваться и обычные граждане – если переведут свои дома на более экологичный вид отопления. Похожие льготы в скором времени планируется распространить и на промышленные объекты. А вот стимулировать владельцев авто, использующих "зеленое топливо", собираются не только налоговыми послаблениями, но и предоставлением права бесплатной парковки в черте города.

Всячески поощрялось использование для отопления отходов производства. В первую очередь это коснулось прекрасно развитой в стране целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Тут сам Бог велел пускать "в дело" древесные опилки, стружку, кору и прочий "неликвид".

По использованию альтернативных источников энергии шведы сегодня "впереди Европы всей". Доля зеленой энергии в энергобалансе королевства, по данным Секретариата Энергетической Хартии, уже составляет 26%. Для сравнения, в среднем по Европе - 6%. И лишь к 2010 году эксперты Еврокомиссии предполагают довести этот показатель до 12%. Швеция же примерно в это же время намерена "взять" планку в 50%!

Уже в этом году планируется ввести в эксплуатацию крупнейшую в Европе ветроэнергетическую станцию. Ее возводят близ города Мальме. По проекту, 48 "ветряков"

будут иметь суммарную мощность 110 МВт. Если развитие ветроэнергетики будет идти по плану, составленному правительством, то к 2015 году доля "ветряков" в производстве электричества увеличится в 10 раз.

Были опубликованы выводы "антинефтяной комиссии" правительства, куда помимо различных правительственных чиновников и ученых входили также промышленники и фермеры. Комиссия посчитала, что к 2020 году вполне реально уменьшить потребление нефтепродуктов в промышленности на 40%, в транспорте – на 50%, а в отоплении полностью от них отказаться. Ежегодно на исследования в области альтернативной энергетики планируется выделять 80 млн. евро.

Богатство Швеции лес – едва ли не самое важное. Отходы деревообрабатывающей промышленности давно используются в энергетике. Королевство прочно занимает первое место в Европе по производству древесных гранул – самого удобного вида древесного топлива для домашних и муниципальных хозяйств.

УДК 621.318

ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ПОДВЕСКЕ

Юхневич М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Технология, основанная на принципе магнитной левитации, или магнитного подвеса, получила распространенное название maglev – от magnetic levitation. Родоначальником этого вида транспорта считается американский ученый Р. Годдарт, который еще в 1904 г. подал идею поезда, опирающегося на магнитное поле. В 1910 г. французский инженер Э. Башле построил модель и подал заявку на «Летающий поезд», а в 1912 г. получил на него патент.

В 1971 г. первый функциональный поезд германской фирмы «Трансрапид» стал совершать опытные поездки по испытательному участку и вскоре достиг скорости 250 км/час. В 1979 г. на Первой международной транспортной выставке в Гамбурге была показана линия длиной 908 м, которая успешно перевезла 5 тыс. пассажиров. В первой половине 1980-х была построена экспериментальная трасса компании «Трансрапид» в долине реки Эмс протяженностью 32 км и скоростью движения поездов 400–450 км/час. В 1984–1995 гг. в Бирмингеме (Великобритания) работала первая в мире коммерческая дорога на магнитном подвесе между аэропортом и железнодорожной станцией длиной 600 м со скоростью движения поезда 42 км/час.

В 2001–2003 гг. была создана и вошла в строй коммерческая маглев-трасса г. Шанхай (метро Лонгян) – аэропорт Пудонг протяженностью 30 км с максимальной скоростью движения поездов 430 км/час и графиковым временем в пути 7,5 мин. (На испытаниях достигнута скорость 501 км/час) Сама эстакада создана китайскими инженерами, а 15 поездов – «Трансрапидом». Общая стоимость проекта составила \$1,2 млрд. В планах китайского правительства построить маглев-трассу Шанхай – Ханьчжоу длиной 170 км стоимостью \$4 млрд и Шанхай – Пекин протяженностью 1,2 тыс. км (\$22 млрд).

В Японии к 1972 г. был создан успешно прошедший испытания вагон на магнитном подвесе, а через три года поезд удалось разогнать до 550 км/час. В настоящее время в префектуре Яманаси построен испытательный участок длиной 18 км, на котором 2 декабря 2003 г. опытный поезд MLX01 установил рекорд скорости 581 км/час. К открытию выставки ЭКСПО-2005 в г. Нагоя была введена в коммерческую эксплуатацию 9-километровая трасса Линимо из девяти станций со скоростью 100 км/час. Сегодня руководство Центральной японской железнодорожной компании заявляет о своем стремлении в обозримом будущем заменить высокоскоростную сеть «Синкансен» на маглев-трассу.

В настоящее время в Германии проектируются две новые линии: Мюнхен – аэропорт (37 км) пропускной способностью 6,5 млн пассажиров в год и Дюссельдорф – Дортмунд (78 км). Общая стоимость работ – 3,2 млрд, из них 1,75 млрд из федерального бюджета Германии. В 2006 году реализация проекта системы, аналогичной «Трансрапиду», началась в Республике Корея. Проектом предусмотрено сооружение в г. Инчхоне трех участков линии общей протяженностью 53,2 км.

В основе технологии магнитного подвеса лежат три основных подсистемы: левитации, стабилизации и ускорения. В то же время на данный момент существует две основных технологии магнитного подвеса и одна экспериментальная, доказанная лишь на бумаге.

Поезда, построенные на базе технологии электромагнитного подвеса (EMS) для левитации используют электромагнитное поле, сила которого изменяется по времени. При этом практическая реализация данной системы очень похожа на работу обычного железнодорожного транспорта. Здесь применяется Т-образное рельсовое полотно, выполненное из проводника (в основном металла), но поезд вместо колесных пар использует систему электромагнитов – опорных и направляющих (Рисунок 1). Опорные и направляющие магниты при этом расположены параллельно к ферромагнитным статорам, размещенным на краях Т-образного пути. Главный недостаток технологии EMS – расстояние

между опорным магнитом и статором, которое составляет 15 миллиметров и должно контролироваться, и корректироваться специальными автоматизированными системами в зависимости от множества факторов, включая непостоянную природу электромагнитного взаимодействия. К слову, работает система левитации благодаря батареям, установленным на борту поезда, которые подзаряжаются линейными генераторами, встроенными в опорные магниты. Таким образом, в случае остановки поезд сможет достаточно долго левитировать на батареях. На базе технологии EMS построены поезда «Трансрапид» и, в частности, шанхайский маглев (Рисунок 2).

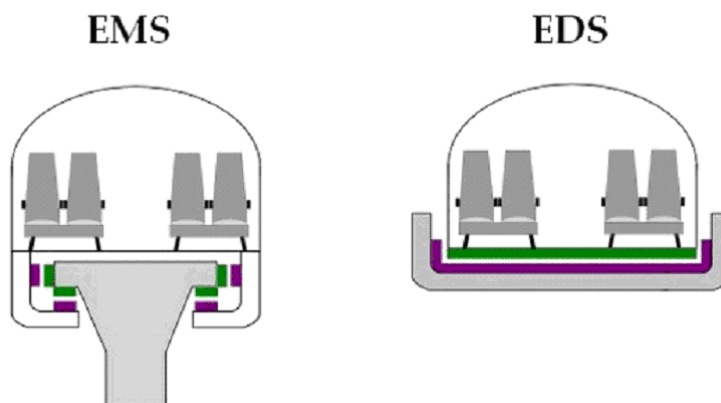


Рисунок 1 Принципы электромагнитного и электродинамического подвеса



Рисунок 2 Шанхайский маглев EMS

Поезда на базе технологии EMS приводятся в движение и осуществляют торможение с помощью синхронного линейного двигателя низкого ускорения, представленного опорными магнитами и полотном, над которым парит магнитоплан. По большому счету, двигательная система, встроенная в полотно, представляет собой обычный статор (неподвижная часть линейного электродвигателя), развернутый вдоль нижней части полотна, а опорные электромагниты, в свою очередь, работают в качестве якоря электродвигателя. Таким образом, вместо получения крутящего момента, переменный ток в катушках генерирует магнитное поле возбуждающихся волн, которое перемещает состав бесконтактно. Изменение силы и частоты переменного тока позволяет регулировать тягу и скорость состава. При этом чтобы замедлить ход, нужно всего лишь изменить направление магнитного поля.

В случае применения технологии электродинамического подвеса (EDS) левитация осуществляется при взаимодействии магнитного поля в полотне и поля, создаваемого сверхпроводящими магнитами на борту состава. На базе технологии EDS построены

японские поезда JR–Maglev В отличие от технологии EMS, в которой применены обычные электромагниты и катушки проводят электричество только в тот момент, когда подается питание, сверхпроводящие электромагниты могут проводить электричество даже после того, как источник питания был отключен, например, в случае отключения электроэнергии. Охлаждая катушки в системе EDS можно сэкономить достаточно много энергии. Тем не менее, криогенная система охлаждения, используемая для поддержания более низких температур в катушках, может оказаться достаточно дорогой.

Главным преимуществом системы EDS является высокая стабильность – при незначительном сокращении расстояния между полотном и магнитами возникает сила отталкивания, которая возвращает магниты в первоначальное положение, в то же время увеличение расстояния снижает силу отталкивания и повышает силу притяжения, что опять же ведет к стабилизации системы. В этом случае никакой электроники для контроля и корректировки расстояния между поездом и полотном не требуется.

Правда, без недостатков здесь также не обошлось – достаточная для левитации состава сила возникает только на больших скоростях. По этой причине поезд на системе EDS должен быть оснащен колесами, которые смогут обеспечивать движение при низких скоростях (до 100 км/ч). Соответствующие изменения также должны быть внесены по всей длине полотна, так как поезд может остановиться в любом месте в связи с техническими неисправностями.

Еще одним недостатком EDS является то, что при низких скоростях в передней и задней частях отталкивающих магнитов в полотне возникает сила трения, которая действует против них. Это одна из причин, по которой в JR–Maglev отказались от полностью отталкивающей системы и посмотрели в сторону системы боковой левитации.

Стоит также отметить, что сильные магнитные поля в секции для пассажиров порождают необходимость установки магнитной защиты. Без экранирования путешествие в таком вагоне для пассажиров с электронным стимулятором сердца или магнитными носителями информации (HDD и кредитные карточки), противопоказано.

Третьей, наиболее близкой к реализации технологией, существующей пока только на бумаге, является вариант EDS с постоянными магнитами Inductrack, для активации которых не требуется энергия. До недавнего времени исследователи считали, что постоянные магниты не обладают достаточной для левитации поезда силой. Однако эту проблему удалось решить путем размещения магнитов в так называемый «массив Хальбаха». Магниты при этом расположены таким образом, что магнитное поле возникает над массивом, а не под ним, и способны поддерживать левитацию поезда на очень низких скоростях – около 5 км/ч. Правда, стоимость таких массивов из постоянных магнитов очень высока, поэтому пока не существует ни одного коммерческого проекта данного рода.

Что можно сказать о потенциальных плюсах и минусах дорог на магнитном подвесе?

- В технической области: линия Шанхай – Пудунг показала себя вполне устойчивой и надежной. Поезда явили реальную способность штатно ездить со скоростью 400– 430 км/час.
- В экологической сфере: опасения относительно разрушающего влияния магнитного поля на здоровье пассажиров полностью опровергнуты, в том числе и теоретически. Отсутствие трещин при движении частей делает поезда практически бесшумными. Наличие эстакады приветствуется всеми экологами как меньшее зло по сравнению с обычной железнодорожной линией (Рисунок 3).
- В области экономики. Учитывая, что средний пассажиропоток 7 тыс. человек в сутки, а билет стоит \$7– 8, затраченные на строительство \$1,2 млрд можно будет вернуть лишь спустя примерно 60 лет. К этому добавляется общепризнанный факт, что магнитные дороги значительно дешевле в эксплуатации, чем железные. Во всяком случае, Шанхайский маглев сполна покрывает свои эксплуатационные затраты, а ведь 2,5 млн пассажиров в год для обычных высокоскоростных железнодорожных магистралей считается очень небольшим объемом, примерно в два раза меньшим уровня рентабельности. В среднем, по некоторым данным, экономия магнитных дорог на эксплуатационных расходах по сравнению с технологией «колесо – рельс» составит порядка 65%.



Рисунок 3 Маглев-трасса Шанхай – Пудунг

Литература

1. Скрипин В. Поезда на магнитной подушке – транспорт, способный изменить мир
<http://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>
2. По китайскому пути. «РЖД-Партнер» № 19 (167) октябрь 2009,
<http://guryevandrey.narod.ru/artikals/Maglev.pdf>

УДК 681.518.5

ТРЕХМЕРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Спода А.Е. Дашковский А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Корпорация Intel разработала качественно новую технологию для будущих семейств микропроцессоров — трехмерные 22-нанометровые транзисторы (IntelTri-Gate). Эти новые транзисторы позволяют продолжить непреклонно следовать *закону Мура* и на многие годы вперед обеспечить соблюдение того же темпа усовершенствования технологий

В 1965г. один из основателей Intel Гордон Мур в процессе подготовки выступления обнаружил закономерность: появление новых моделей микросхем наблюдалось спустя примерно год после предшественников, при этом количество транзисторов в них возрастало каждый раз приблизительно вдвое. Мур пришел к выводу, что при сохранении этой тенденции мощность вычислительных устройств за относительно короткий промежуток времени может вырасти экспоненциально. Это наблюдение получило название — закон Мура.

Ранее транзисторы — основной компонент микропроцессоров — были двухмерными (плоскими) устройствами. Трехмерные транзисторы, а также возможность их массового производства, ознаменовали собой существенное изменение основной структуры компьютерной микросхемы.

Трехмерная 22-нанометровая микроархитектура знаменует новый уровень в фундаментальной структуре компьютерных микросхем. В трехмерном транзисторе используются три затвора, которые размещаются вокруг кремниевого канала в трехмерной структуре, обеспечивая непревзойденное сочетание высокой производительности и сверхнизкого энергопотребления.

Новая технология позволяет создавать еще более мощные микропроцессоры, предоставляющие повышенную производительность и увеличенное время автономной работы при меньших финансовых затратах, а также создавать еще более компактные устройства, такие как Ultrabook.

Благодаря меньшему размеру трехмерных транзисторов можно проектировать более производительные процессоры с невероятной энергоэффективностью. Новая технология позволяет создавать инновационные микроархитектуры, однокристалльные системы и новую продукцию: от серверов и компьютеров до смартфонов и инновационных персональных устройств.

От размера и структуры транзисторов зависит реализация преимуществ закона Мура для пользователей. Чем меньше размер и выше энергоэффективность процессора, тем лучше. Производители уверенно уменьшают размер своей производственной технологии, а также представляют и другие технологии. Например, уже в 45-нанометровой производственной технологии были применены диэлектрики Hi-k и металлические затворы (2007 г.), а до этого применялся диэлектрик SiO₂ и затвор из кремния.

Многие годы производители транзисторов уменьшали слой диоксида кремния между кремниевой подложкой и затвором транзистора. Дело дошло до того, что в чипах не менее 40% энергии терялось из-за утечек тока через диэлектрик затвора. Изолятор теперь не способен эффективно выполнять свои функции. Инженерам пришлось пойти на огромные ухищрения с применением новых технологий и материалов, чтобы минимизировать токи утечки при такой толщине изолятора. Хотя SiO₂ и считается идеальным изолятором, однако пришла пора искать ему замену.

Этой заменой стал таинственный материал, основанный на технологии под кодовым названием "high-k". High-k — технология производства полупроводниковых приборов с подзатворным диэлектриком, выполненным из материала с диэлектрической проницаемостью большей, чем у диоксида кремния.

Фирма Intel заявила о том, что уже в 2007 году готова заменить тонкий слой диоксида кремния более толстым слоем совершенно нового диэлектрика, что позволит существенно (примерно в 100 раз) снизить токи утечки.

Материал на основе технологии "high-k" обладает хорошими изолирующими свойствами, а также создает хорошее емкостное сопротивление между затвором и каналом. Буква "k" указывает на способность материала "впитывать" и сохранять большой электрический заряд.

Замена диоксида кремния на "high-k" ведет к проблемам взаимодействия с поликристаллическим кремнием, из которого обычно изготавливается затвор. Первая проблема - превышение порогового напряжения, вызванное неизбежными дефектами в площади соприкосновения диэлектрика затвора и электрода затвора. Второй нежелательный эффект - фоновое рассеяние. Обе эти проблемы решаются путем изготовления затвора из нового материала, заменяющего поликремний. Это будут металлические сплавы, различные для транзисторов n-типа и p-типа.

УДК 681.518.5

ЗАЩИЩЕННАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ QNX

Мансурова Ю.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Операционная система реального времени – тип операционной системы, основное назначение которой – предоставление необходимого и достаточного набора функций для работы систем реального времени на конкретном аппаратном оборудовании.

Реальное время в операционных системах — это способность операционной системы обеспечить требуемый уровень сервиса в определённый промежуток времени

Для подобных систем характерно:

1. гарантированное время реакции на внешние события (прерывания от оборудования)
2. жёсткая подсистема планирования процессов (высокоприоритетные задачи не должны вытесняться низкоприоритетными, за некоторыми исключениями)
3. повышенные требования к времени реакции на внешние события или реактивности

Классическим примером является управление роботом, берущим деталь с ленты конвейера. Деталь движется, и робот имеет лишь маленький промежуток времени, когда он может её взять. Если он опоздает, то деталь уже не будет на нужном участке конвейера, и, следовательно, работа не будет выполнена, несмотря на то, что робот находится в правильном месте. Если он подготовится раньше, то деталь ещё не успеет подъехать, и он заблокирует ей путь.

Создателей QNX Дэна Доджа и Гордона Белла в 2003 году журнал "Fortune" назвал героями промышленности. Действительно, разнообразие областей науки и техники, в которых нашла своё применение ОС РВ QNX, вызывает удивление даже у её разработчиков.

Как микроядерная операционная система, QNX основана на идее работы основной части своих компонентов, как небольших задач, называемых сервисами. Это отличает её от традиционных монолитных ядер, в которых ядро операционной системы — одна большая программа, состоящая из большого количества «частей», каждая со своими особенностями. Использование микроядра в QNX позволяет пользователям (разработчикам) отключить любую ненужную им функциональность, не изменяя ядро. Для этого можно просто не запускать определённый процесс.

Система достаточно небольшая, чтобы в минимальной комплектации уместиться на одну дискету, вместе с этим она считается очень быстрой и должным образом «законченной» (практически не содержащей ошибок).

QNX Neutrino, выпущенная в 2001 году, перенесена на многие платформы, и сейчас способна работать практически на любом современном процессоре, используемом на рынке встраиваемых систем. Среди этих платформ присутствуют семейства x86, MIPS, PowerPC, а также специализированные семейства процессоров, такие, как SH-4, ARM, StrongARM и xScale.

Система платная, при этом для некоммерческого использования и для обучения она предлагается бесплатно в течение 30 дней.

QNX — операционная система не только для персональных компьютеров, но и для самых разных бытовых и промышленных интеллектуальных устройств — управляющих технологическими процессами систем, станков с ЧПУ, интернет-приставок, видеовоспроизводящих агрегатов, игровых консолей, а возможно, и для холодильников, кофеварок и чайников недалёкого будущего.

Создавалась QNX изначально для промышленного применения, управления самыми разнообразными технологическими процессами — начиная от атомной энергетики и

заканчивая варкой пива и производством шоколадных батончиков. Для столь ответственных и критичных областей применения, как вы понимаете, виснувшая в зависимости от погодных условий или расположения звёзд на небе Windows категорически не подходит. QNX же, в отличие от большинства ныне существующих систем, является системой реального времени, что в переводе с птичьего языка означает примерно следующее: эта ОС гарантированно среагирует на любое событие в течение определённого, также гарантированного, очень малого промежутка времени.

Ряд операций QNX выполняет в 20 раз быстрее UNIX. Входные данные при этом обрабатываются почти мгновенно — ОС работает быстрее, чем они поступают, и при этом из их потока не пропадает ни один бит.

Если же ОС будет обрабатывать данные медленнее, чем они приходят, то часть их может потеряться или же возникнет некая задержка, рассогласование действительных входных данных с той картиной, что имеет в данный момент оператор после их обработки системой. Это, разумеется, неприемлемо в промышленных условиях — такие потери данных и задержки могут привести к многомиллиардным убыткам и даже человеческим жертвам. Достигается это в первую очередь истинной принудительной многозадачностью, используемой в QNX. То есть ни один зависший процесс не может ни при каких условиях заблокировать работу самой ОС или же как-то повлиять на другие задачи. Разумеется, QNX является и полностью 32-разрядной системой — без этого необходимой надёжности достигнуть было бы невозможно. Следующая отличительная особенность QNX — чрезвычайно низкая требовательность к аппаратным ресурсам, что обусловлено тем, что QNX — микроядерная ОС. Ядро этой ОС, называемое Neutrino, имеет размер всего 32kb и выполняет только самые базовые функции, остальные же сервисы реализованы в динамически подключаемых модулях. Благодаря такому решению операционная система с минимальным набором дополнительных сервисов способна полноценно работать на 386 процессоре с 8 мегабайтами оперативки. Именно это обстоятельство позволяет найти ей ещё одну область применения — бытовые интеллектуальные устройства типа интернет-планшетов, банкоматов или кассовых аппаратов в магазинах.

Мировой опыт достаточно богат примерами построения решений на основе QNX, и среди них немало таких, которые связаны с ответственными или мобильными применениями, с системами двойного назначения, с использованием в условиях космоса, моря и т.д., то есть решений, которые можно рассматривать в качестве открытых аналогов многих военных применений. Приведём некоторые из них:

1. Система высокоточной обработки трёхмерных видеоизображений ASVS, разрабатываемая компанией Neptune и предназначенная для удалённого управления стыковкой космических аппаратов;

2. Система наблюдения и сигнализации Senstar-100 компании SenstarStellar, решающая задачи периметровой охраны важных объектов;

3. Управление бортовым манипулятором космического корабля «Шаттл» реализовано на основе QNX;

4. Радионуклидный анализатор RASA компании PacificNorthwestNationalLaboratory для идентификации ядерных объектов и мониторинга окружающей среды;

Кроме того, можно упомянуть такие сферы применения, как сталелитейная промышленность, добыча, транспортировка и переработка нефти и газа, атомная энергетика, авиационные и морские тренажёры и симуляторы, автоматические телефонные станции и телекоммуникационное оборудование, робототехника и управление беспилотными аппаратами, медицинские приборы и многое другое.

Литература

1. Ваулин Ю., Инзарцев А. Применение ОС QNX в подводной робототехнике // Современные технологии автоматизации. 2002. № 3. С. 66 - 71.
2. Инзарцев А., Львов О. Бортовые вычислительные сети автономных подводных роботов // Современные технологии автоматизации. 2005. № 2. С. 68 - 74.

УДК 681.518.5

САПФИР

Середюк С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Сапфир (лейкосапфир) один из самых удивительных материалов, созданных человеком. Химическая формула Al_2O_3 , монокристалл.

Плотность 4 г/см³

Твердость по Моосу 9 (уступает только алмазу)

Тплавления = 2050 С

Ткипения = 2980 С

Удельное сопротивление $5 \cdot 10^{18}$ Ом*см (один из лучших диэлектриков). Высокая химическая стойкость – практически не растворим в щелочах и кислотах даже при высоких температурах. Оптически прозрачен в широком диапазоне длин волн, по внешнему виду практически не отличим от обычного стекла.

Область применения изделий из сапфира огромна. Из сапфира делают большие оптические окна для космических кораблей, вертолётов и самолётов. Такие же окна применяются в металлургии, атомной и химической промышленности и так далее. В медицине из сапфира изготавливают различного вида имплантанты, скальпели и другие инструменты. Особо широко применяются сапфировые подложки в электронной технике. Большое количество микросхем и других электронных приборов изготовлены на структурах «кремний на сапфире» (например, различного рода датчики высоких давлений и тензорезисторных преобразователей механических величин, выдерживающие большие дозы радиации и работающие в агрессивных средах). Сапфир применяется для производства часовых стёкол и линз, экранов сотовых телефонов, бижутерии, ювелирных изделий и так далее.

Подложки также являются одной из областей конструкционного применения сапфира. В качестве подложек интегральных микросхем, оптоэлектроники, микроэлектроники сапфир даёт возможность решить задачи повышения надёжности и стабильности параметров электронных устройств при работе в жёстких условиях эксплуатации (инертность, радиационная стойкость, высокие и низкие температуры, высокие механические нагрузки, ионизирующие излучения и другие). Подложки используются для эпитаксии полупроводниковых плёнок (Si, GaN, AlGaN и многих других). Возможность получения сапфировых подложек больших размеров позволяет снижать стоимость сформированных на них электронных приборов. В то же время отметим, что высокая твёрдость и химическая стойкость сапфира является серьёзным препятствием при реализации технологии резки слитков сапфира, шлифования и полирования пластин и подложек в промышленном производстве.

В 2008 г. была открыта новая возможность использования сапфира в качестве защиты в конструкциях бронежилетов, смотровых окон автомобилей, вертолётов, самолётов и ряда изделий военной техники. Структура брони представляет собой послойное расположение сапфира, стекла и пластмассы. Конусная пуля, столкнувшись с бронёй, в первую очередь встречается с сапфировым слоем, который меняет форму пули и сплющивает её. Последующие слои предназначены для остановки перемещения цилиндрической пули. Преимущества такой брони очевидны. Броня на основе сапфира толщиной 30 мм способна обеспечить такую же защиту, как бронестекло толщиной в 100 мм. Такая броня используется достаточно широко. Уже сегодня иллюминаторы космических кораблей делают из стекла на основе сапфира. Сапфир также используют для защиты солнечных батарей от метеоритного дождя и других внешних воздействий в космосе.

Благодаря износостойкости сапфир используется в качестве фильера для протяжки проволоки, наконечников измерительных щупов, сопел для пескоструйки и гидроабразивной

резки, нитеводителей на ткацких фабриках (Россия снабжает более половины мирового рынка), пропускные кольца дорогих спиннингов выполнены из полированного сапфира. Направляющие некоторых современных станков также делают из сапфира. Известны сапфировые подшипники трения и качения. Химическая стойкость позволяет использовать сапфировые тигли, мензурки, капилляры, матрицы и пуансоны в особочистых производствах. Насосы для хроматографов и разлива лекарств снабжены сапфировыми плунжерами.

Рост объёмов поставок изделий из сапфира на рынке за последние несколько лет способствовал активному развитию новых технологий, что привело к интенсивному применению сапфира в электронике и оптоэлектронике. Одно из самых главных применений сапфира на сегодняшний день – это светоизлучающие диоды (СИД). СИД широко используются в панелях телевизоров высокой чёткости, дисплеях компьютеров, в дорожных знаках, светофорах и разных табло, в экранах мобильных телефонов. Развитие также получает использование СИД в энергосберегающих системах общего освещения, так как позволяет экономить около 30% электроэнергии.

В настоящее время три четверти, выпускаемых в мире светоизлучающих диодов производится с использованием сапфира. Большинство светодиодов состоят из нитридов элементов III группы, которые наносятся на сапфировые подложки. Причина этому – особое эпитаксиальное соотношение между нитридами элементов III группы и сапфира, а именно, поворот решётки GaN на 30° по отношению к решётке сапфира позволяет добиться идеальной ориентации кристалла вдоль оси [0001]. Высокая термическая стойкость сапфира позволяет производить очистку подложки перед началом выращивания структуры СИД.

Потребление сапфира после 2010 г. растёт в среднем на 20% в год [1]. Основными потребителями сапфира являются США, Германия, Израиль, Китай, Тайвань, Швейцария, Россия, Чехия и некоторые другие страны. В тройку ведущих мировых производителей сапфира наряду с Россией («Монокристалл», г. Ставрополь) входят японская корпорация Куосега и американская компания Rubicon Technology. Завод «Монокристалл» – крупнейшая производственная площадка Европы по выращиванию искусственного сапфира для нужд электронной техники. Около 90% производимых в Ставрополе сапфировых подложек поставляются 50 азиатским, европейским и американским компаниям, работающим в электронной промышленности. В 2010 г. доля «Монокристалла» на мировом рынке сапфира составила около 25%.

Литература

1. Малюков С.П., Нелина С.Н., Стефанович В.А. Физико-технологические аспекты изготовления изделий из сапфира. Lap Lambert Academic Publishing. Германия. 2012. С. 163.

УДК 681.518.5

ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ

Сазонов П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Сейчас мы на конкретном примере рассмотрим, как можно не прибегая к услугам специалистов, оборудовать свой дом, дачу или гараж охранной системой. Установка сигнализации своими руками, на наш взгляд несет ряд преимуществ. Во-первых это значительная экономия средств, во-вторых в процессе монтажа вы досконально вникните в структуру своей системы что позволит вам в случае возникновения неполадок в процессе эксплуатации, самому их устранить или доработать свою систему сигнализации, подключив дополнительные датчики (пожарные извещатели, датчики утечки газа или протечки воды...), в-третьих вы исключите возможность злого умысла самих установщиков системы сигнализации (бывали случаи, когда недобросовестные монтажники систем охранной сигнализации, вносили в память прибора дополнительные "левые" ключи доступа или делали копии электронных ключей хозяина). Также мы расскажем о профилактике краж.

Современное общество просто немыслимо без охранных сигнализаций. Охранная сигнализация может быть и противопожарной, и обычной, работающей против злоумышленников. Все зависит от того, в каком месте она устанавливается, и какой функционал должна в себе нести.

Для самой простой сигнализации достаточно установить датчики проникновения на двери и окна (обычный геркон и магнит - стоят копейки) 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 извещателя 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.

Сейчас существует большое количество компаний, готовых установить сигнализацию, в том числе и GSM. Схема подобных систем не так сложна, как может показаться на первый взгляд. Главное, разобраться в некоторых нюансах и вполне можно не прибегать к помощи сторонних лиц, а сделать сигнализацию своими руками. Это обойдется гораздо дешевле, а ее постоянное обслуживание будет зависеть только от вас. То есть, вы сами сможете ее чинить и проводить сервис.

GSM сигнализация в общем случае представляет из себя некоторый блок (GSM контроллер), к которому подключаются датчики (чувствительные элементы), и GSM модем (или сотовый телефон). Очень удобно GSM сигнализацию строить на базе устаревших сотовых телефонов моделей Siemens C35 (C45...). GSM сигнализация очень хорошо подходит для охраны любых удалённых объектов (гаражи, склады, дачи, киоски и пр.). Всё, что необходимо для работы данной системы - наличие электрической энергии, и достаточно устойчивой сотовой связи.

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).

Основу GSM контроллера составляет микроконтроллер PIC16F628A. Схема не содержит дорогостоящих и труднодоступных деталей.

Самостоятельный монтаж охранной сигнализации подразумевает наличие определенных знаний и умений. В тоже время, можно получить консультацию, обратившись в сервисные предприятия, которые занимаются поставкой такого оборудования. Здесь вам могут порекомендовать системы сигнализации для самостоятельной установки, среди которых будут варианты простые и понятные даже для новичка.

Способов для проникновения в чужую квартиру существует много. Невскрывающихся замков не бывает.

Сегодня, как считают специалисты, самым надежным способом защиты является централизованная охрана квартир. Чтобы не допустить проникновения в домовладение непрошенных визитеров, в квартире устанавливается сигнализация, которая выводится на пульт охраны. Она моментально передает сигнал тревоги, и в считанные минуты у вашего жилища появится наряд милиции охраны, который препроводит самозванных гостей куда следует. Под охрану принимаются не только помещения с личным имуществом граждан, но и иные строения с имуществом. Стоимость такой услуги в месяц можно сравнить разве что со стоимостью одного билета в кино.

Современные охранные системы разнообразны как по цене, так и по назначению. Одни блокируют двери, другие реагируют на разбитие стекла, третьи контролируют перемещение внутри квартиры. Их можно использовать в различных комбинациях. Например, цена стандартного комплекта равнозначна стоимости приобретения сложной бытовой техники (телевизора, пылесоса, мультиварки и т.д.). При этом эффективность защиты возрастает до 98,5 %, а при использовании датчиков, реагирующих на перемещение в квартире, данные датчики срабатывают в случаи возгорания в квартире и могут служить по принципу пожарных извещателей. Кроме стандартных методов защиты существуют и психологические. Классическим являются собаки. Иногда пробежавшая мимо кошка вызовет лай. И не факт, что хозяин проснётся, но сам лай ввергает некоторых людей в ужас и давит на нервы.

Нетрадиционный метод защиты, который предлагаем мы:

Соединить телефон на платформе Android с «умной розеткой». «Умная розетка» позволят управлять бытовыми электроприборами в радиусе действия bluetooth с телефона андроид с минимальными требованиями к бюджету и монтажу. Не потребуется 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.

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 я подключаю к умной розетке музыкальный центр или светильник и задаю время включения. Если у вас имеется разные электрические приборы и богатое воображение можно придумать ещё что-нибудь

Рассмотрев причины и условия совершения краж, мы выделили 3 основных причины:

Первая- беспечность и излишняя доверчивость потерпевших (в большинстве случаев потерпевшие добровольно по различным поводам и под различными предложениями впускали преступников к себе в жилище, кражи совершаются из незапертых жилых помещений, через оставленные незакрытыми окна, балконные двери и форточки, с помощью обнаруженных в «условных» местах, либо оставленных непосредственно во входных дверях ключей);

Вторая- пьянство (нередко непосредственно перед преступлением потерпевшие с преступниками совместно распивали спиртные напитки);

Третья - ненадлежащая укрепленность жилых помещений, отсутствие охранной сигнализации. Больше всего лиц, совершающих кражи из квартир граждан, привлекают деньги, ювелирные изделия, мобильные телефоны. Поэтому если Вам, что-то показалось подозрительным или Вы заподозрили особое внимание со стороны, в таких случаях не стоит теряться в сложившейся ситуации, необходимо же звонить по телефону 02 или в ближайший ОВД.

А теперь несколько элементарных правил, обеспечения сохранности имущества.

- не оставлять ключи от квартиры под ковриком, в почтовом ящике, на электрощите и в других доступных местах;

- покидая квартиру, не забывать запирают окна, форточки и балконы, которые могут стать лазейкой для злоумышленников;

- не спешить открывать дверь незнакомым, особенно если они представляются работником службы, которую не вызывали. Всегда проверяйте, что за дверью именно тот человек, кем он представляется;

- категорически запрещайте детям открывать дверь незнакомым людям, под каким бы благовидным предлогом они не просили бы войти в квартиру;

- уезжая в длительную поездку (отпуск, командировку) просите соседей забирать почтовую корреспонденцию. Накапливающаяся в почтовом ящике корреспонденция является сигналом к действию для преступников;

- при потере ключей, заменяйте замки во входной двери.

УДК 621.395.61

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРОСТЫХ РАДИОМИКРОФОНОВ

Джема Л.М., Макарова А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Микрофон является хорошо известным и распространенным устройством в звуковой аппаратуре.

Микрофон – это устройство для преобразования акустических колебаний воздушной среды в электрические сигналы. Микрофоны используются во многих устройствах, таких как простые и сотовые телефоны, магнитофоны, в звукозаписи и видеозаписи, на радио и телевидении. Стоит отметить, что типов микрофонов достаточно много, и процесс преобразования акустических колебаний воздушной среды в электрические сигналы у них происходит по-разному.

Любой микрофон состоит из двух систем: акустико-механической и механоэлектрической [1].

Свойства акустико-механической системы зависят от того, воздействует ли звуковое давление на одну сторону диафрагмы (микрофон давления) или на обе стороны, а во втором случае от того, симметрично ли это воздействие (микрофон градиента давления) или на одну из сторон диафрагмы действуют колебания, непосредственно возбуждающие её, а на вторую – прошедшие через какое-либо механическое или акустическое сопротивление или систему задержки времени (асимметричный микрофон градиента давления).

Первым получил распространение угольный микрофон, который и до сих пор часто используют в телефонах прошлого века. Действие его основывается на изменении сопротивления между зёрнами угольного порошка при изменении давления на их совокупность.

Основное преимущество угольного микрофона – высокая чувствительность, позволяющая использовать его без усилителей. Недостатки – нестабильность работы и шум из-за того, что полезный электрический сигнал вырабатывается при разрыве и восстановлении контактов между отдельными зёрнами порошка, большая неравномерность частотной характеристики и значительные нелинейные искажения.

После угольного микрофона появился электромагнитный микрофон. Электромагнитный микрофон стабилен в работе. Однако ему свойственны узкий частотный диапазон, большая неравномерность частотной характеристики и значительные нелинейные искажения.

В противоположность электромагнитному микрофону чрезвычайно широкое распространение для целей озвучения, звукоусиления получил электродинамический микрофон в своих двух модификациях – катушечной и ленточной. Электродинамический катушечный микрофон стабилен, имеет довольно широкий частотный диапазон, сравнительно небольшую неравномерность частотной характеристики.

Частотный диапазон электродинамического ленточного микрофона довольно широк, а неравномерность частотной характеристики меньше чем у электродинамического катушечного.

Для электроакустических трактов высокого качества наибольшее распространение в настоящее время получил конденсаторный микрофон. Эти микрофоны имеют самые высокие качественные показатели: широкий частотный диапазон, малую неравномерность частотной характеристики, низкие нелинейные и переходные искажения, высокую чувствительность и низкий уровень шумов.

Электретные микрофоны, по существу, те же конденсаторные, но постоянное напряжение для них обеспечивается не обычным источником, а электрическим зарядом

мембраны или неподвижного электрода, материалы которых отличаются тем, что способны сохранять этот заряд длительное время.

Некоторое распространение получили микрофоны пьезоэлектрические. Их действие основано на том, что звуковое давление воздействует непосредственно или через диафрагму и скрепленный с ней стержень на пьезоэлектрический элемент. При деформации последнего на его обкладках вследствие пьезоэлектрического эффекта возникает напряжение, являющееся выходным сигналом микрофона.

Для приема речи в условиях окружающего шума применяют ларингофоны. Эти приборы воспринимают механические колебания гортани, возникающие при речевом образовании. Для этого ларингофоны (обычно пара) прижимаются к шее в области гортани. По принципу преобразования ранее применялись угольные ларингофоны, а в настоящее время – электромагнитные. Отличие их от соответствующих микрофонов в том, что в них нет диафрагм, на которые воздействует звуковое давление, а подвижный элемент вследствие инерции перемещается относительно корпуса колеблющегося в такт с колебанием гортани, к которой он прилегает.

Радиомикрофон представляет собой систему, состоящую из микрофона, переносного малогабаритного передатчика и стационарного приемника. Микрофон чаще всего используют динамический катушечный или электретный. Передатчик либо совмещают в одном корпусе с микрофоном, либо выполняют карманного типа. Он излучает энергию радиочастот в УКВ диапазоне на одной из фиксированных частот. Вследствие влияния дополнительных преобразований в системе "передатчик – эфир – приемник" качественные параметры радиомикрофона уступают параметрам обычного микрофона.

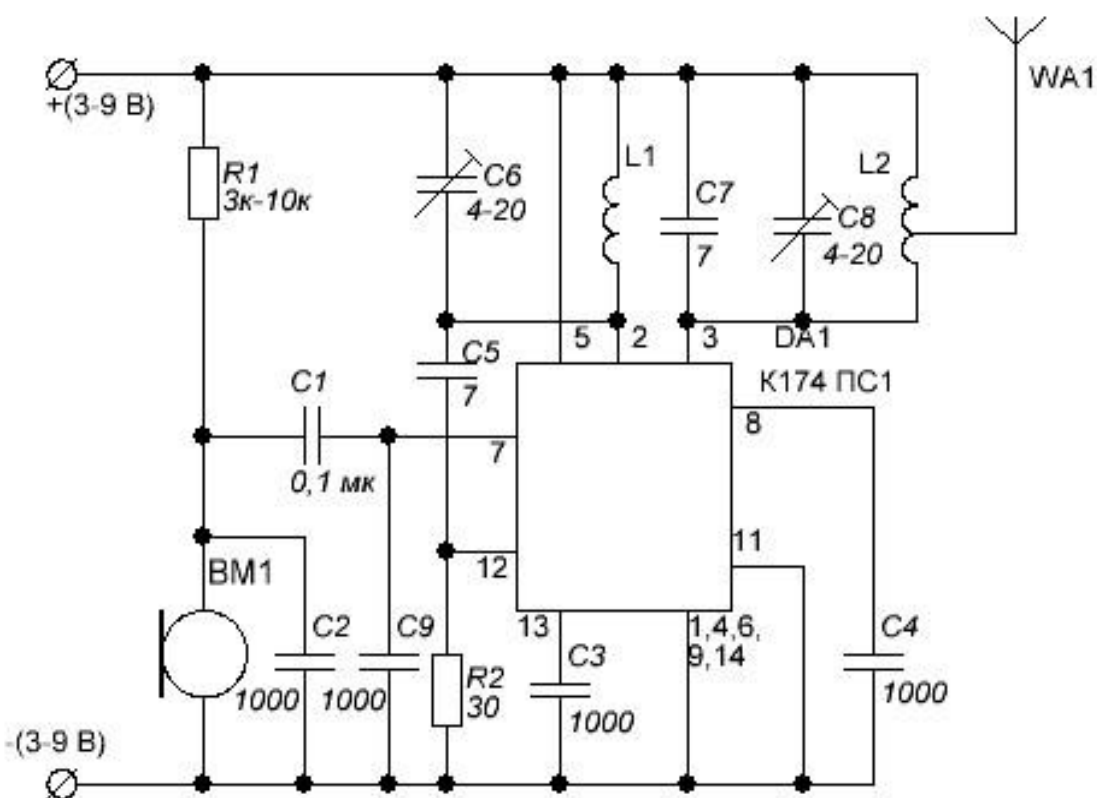


Рисунок 1 – Схема радиомикрофона с передачей сигнала по сети 220В

Схема радиомикрофона на микросхеме К174ПС1 для диапазона 88...108 МГц приведена на рисунке 1 [2].

В ней применен электретный микрофон. Катушки L1 и L2 - бескаркасные, имеют по 5 витков каждая. Намотка производится проводом 0,2 – 0,5 мм на оправке диаметром 3 мм.

Настройка передатчика производится подстроечным конденсатором С6, а конденсатором С8 производится подстройка по максимальной отдаваемой мощности.

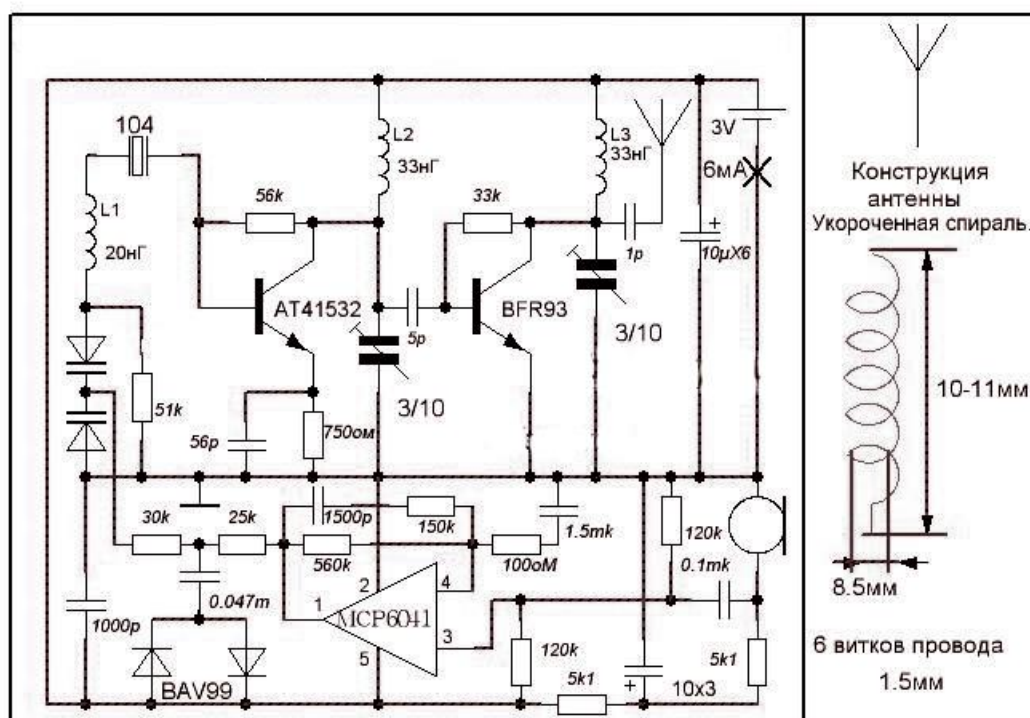


Рисунок 2 – Схема радиомикрофона с широкополосной модуляцией диапазона 433МГц

Радиомикрофон типа «Сосна» (Рисунок 2) [3] запитан по обычной схеме, сигнал ЗЧ через разделительный конденсатор подается на вход ОУ, на котором усиливается. ОУ включен по «стандартной» схеме с той лишь разницей, что в цепи ООС включена последовательная RC-цепочка (1500 пФ-150 кОм), которая снижает усиление на высоких частотах, тем самым понижает спектр сверхзвукового сигнала на выходе ОУ. Далее усиленный сигнал ЗЧ с выхода ОУ через резистор подается на цепочку ограничения пиков ЗЧ. С резисторного делителя сигнал подается на варикапную матрицу, которая состоит из двух варикапов включенных встречно и зашунтированных резистором 51 кОм. В цепи варикапа и ПАВ включена утягивающая (растягивающая) катушка, служащая для настройки несущей частоты передатчика радиомикрофона. Генератор работает на контур последовательного резонанса, это дает удобство монтажа и высокий КПД. Далее сигнал через разделяющий конденсатор поступает на базу транзистора УВЧ, его режим задается резистором база-коллектор, что дает большую стабильность каскада по постоянному току, что в целом положительно сказывается на ВЧ. Нагрузкой УВЧ является последовательный контур, с него сигнал подается через конденсатор на спиральную антенну.

Рассмотрим, какие частоты разрешены для радиоканала микрофонов [4].

В большом зале имеет смысл взять радиосистему с частотным диапазоном 500 МГц или 800 МГц. Но в высокочастотных радиомикрофонах уровень шумов несколько заметнее, в то время как радиомикрофоны с частотой 200...250 МГц звучат более прозрачно. Высокочастотные радиосистемы всегда дороже, так как технологически более сложны. Считается, что радиомикрофоны, работающие в диапазоне 170...250 МГц более подвержены радиопомехам. На практике это не совсем так, – всё зависит от каждого конкретного места, и даже самый дорогой и фирменный 400-800 МГц-овый радиомикрофон не защищён в современном эфире от случайно оказавшегося рядом мощного источника помех, работающего на близкой частоте - рации, радиотелефона или какого-нибудь другого оборудования специального назначения. Опыт показал, что оптимальным частотным диапазоном является 450...550 МГц. Радиомикрофоны на этих частотах устойчиво ведут себя

на расстояниях до 150 м в условиях прямой видимости, и до 100 м за не сплошными бетонными преградами (когда есть путь для отражённых радиоволн).

Питание радиомикрофонов осуществляется от батареек или аккумуляторов.

Мощность передатчиков вокальных радиосистем колеблется от 10 мВт до 50 мВт. Низкочастотные радиомикрофоны потребляют энергии чуть больше, поэтому батарейки или аккумуляторы в них разряжаются быстрее.

Литература

1. <http://ru.wikipedia.org>
2. <http://radiolub.ru>
3. <http://shemalog.narod.ru/>
4. <http://www.adada.ru/>

УДК 62.7:621.311.6

СХЕМОТЕХНИКА ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Чурак Н.В., Павлюченко З.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Источник бесперебойного питания (ИБП) – автоматическое электронное устройство с аккумуляторной батареей, предназначенное для бесперебойного кратковременного снабжения электрической энергией компьютера и его компонентов с целью корректного завершения работы и сохранения данных в случае резкого падения или отсутствия входного питающего напряжения системы.

Существует три схемы построения ИБП: резервная, интерактивная, двойное преобразование.

Резервная (рис. 1)

Резервная схема (англ. Off-Line, Standby) — в нормальном режиме питание подключенной нагрузки осуществляется напрямую от первичной электрической сети, которое ИБП фильтрует (высоковольтные импульсы и электромагнитные помехи) пассивными фильтрами. При выходе электропитания за нормированные значения напряжения (или его пропадании) нагрузка автоматически переключается к питанию от схемы, получающей электрическую энергию от собственных аккумуляторов с помощью простого инвертора. При появлении напряжения в пределах нормы снова переключает нагрузку на питание от первичной сети.

Достоинства

За счёт КПД около 99% (при наличии напряжения сети) практически бесшумны и имеют минимальное тепловыделение;

невысокая стоимость ИБП в целом.

Недостатки

относительно долгое время (порядка 4...12 мс) переключения на питание от батарей;

невозможность корректировать ни напряжение, ни частоту (VFD по классификации МЭК).

несинусоидальная форма выходного напряжения при работе от батареи (аппроксимированная синусоида, квази-синусоида);

Итог: Чаще всего ИБП, построенные по такой схеме, используется для питания персональных компьютеров или рабочих станций локальных сетей начального уровня, для которых не критично своевременное отключение в случае неполадки в сети. Практически все недорогие маломощные ИБП, предлагаемые на отечественном рынке, построены по данной схеме.

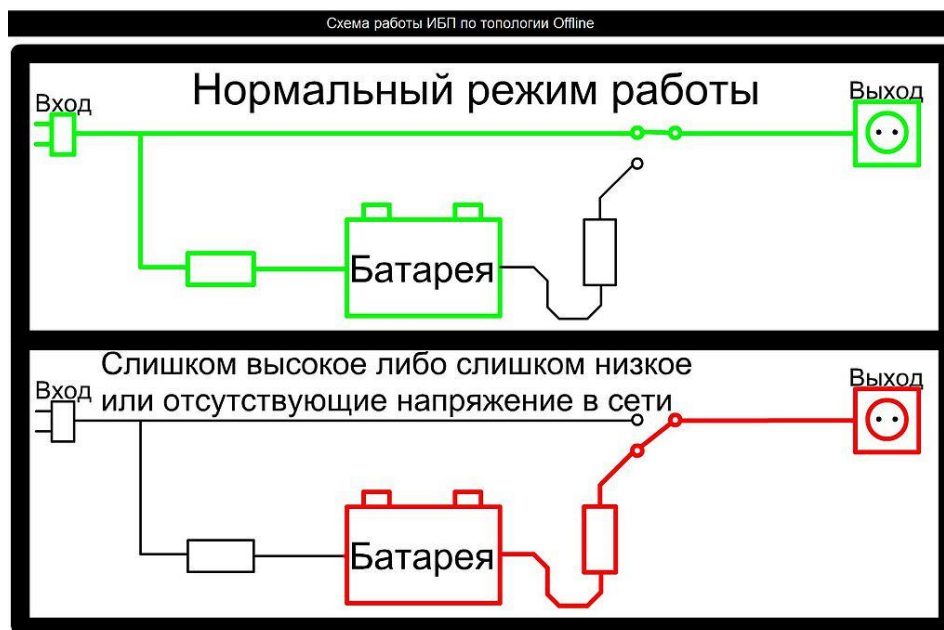


Рисунок 1 – Работа ИБП по резервному принципу работы

Интерактивная (рис. 2)

Интерактивная схема (англ. Line-Interactive) — устройство аналогично предыдущей схеме; дополнительно на входе присутствует ступенчатый стабилизатор напряжения на основе автотрансформатора, позволяя получить регулируемое выходное напряжение. (VI по классификации МЭК). При работе в нормальном режиме такие ИБП не корректируют частоту, пассивные фильтры фильтруют входящее переменное напряжение. При пропадании напряжения ИБП переходит на питание от инвертора, аналогично предыдущему.

Инверторы некоторых моделей линейно-интерактивных ИБП выдают напряжение как прямоугольной или трапецеидальной формы, как у предыдущего варианта, так и синусоидальной формы. Время переключения меньше, чем в предыдущем варианте, так как осуществляется синхронизация инвертора с входным напряжением. КПД ниже, чем у резервных.

Недостатки: в режиме «от сети» не выполняет функцию фильтрации пиков, и обеспечивает только крайне примитивную стабилизацию напряжения (обычно 2-5 ступеней автотрансформатора, переключаемые релейно, функция называется «AVR»).

В режиме «от батарей» некоторые, особенно дешёвые, схемы выдают на нагрузку частоту куда выше 50 Гц, и осциллограмму переменного тока, имеющую мало общего с синусоидой. Это связано с применением классического трансформатора крупного размера в схеме (вместо инвертора на полупроводниковых ключах). В связи с тем, что трансформатор данного габарита имеет (в связи с возникновением гистерезиса в сердечнике) ограничение на передаваемую мощность, которое линейно растет с частотой, данного трансформатора (занимает 1/3 объёма всего ИБП) хватает для питания цепи зарядки батарей на 50 Гц в режиме «от сети». Но, в режиме «от батарей», через этот трансформатор нужно пропустить уже сотни ватт мощности, что возможно только путём повышения частоты.

Это приводит к невозможности питания приборов, использующих для питания чистое синусоидальное напряжение, например, асинхронные двигатели, отопительные системы с асинхронными двигателями.

По сути, от такого ИБП можно питать только приборы, нетребовательные к качеству питания, то есть, например, все приборы с импульсными БП, где питающее напряжение немедленно выпрямляется и фильтруется. То есть компьютеры и значительная часть современной бытовой электроники. Также можно питать осветительные и обогревательные приборы.

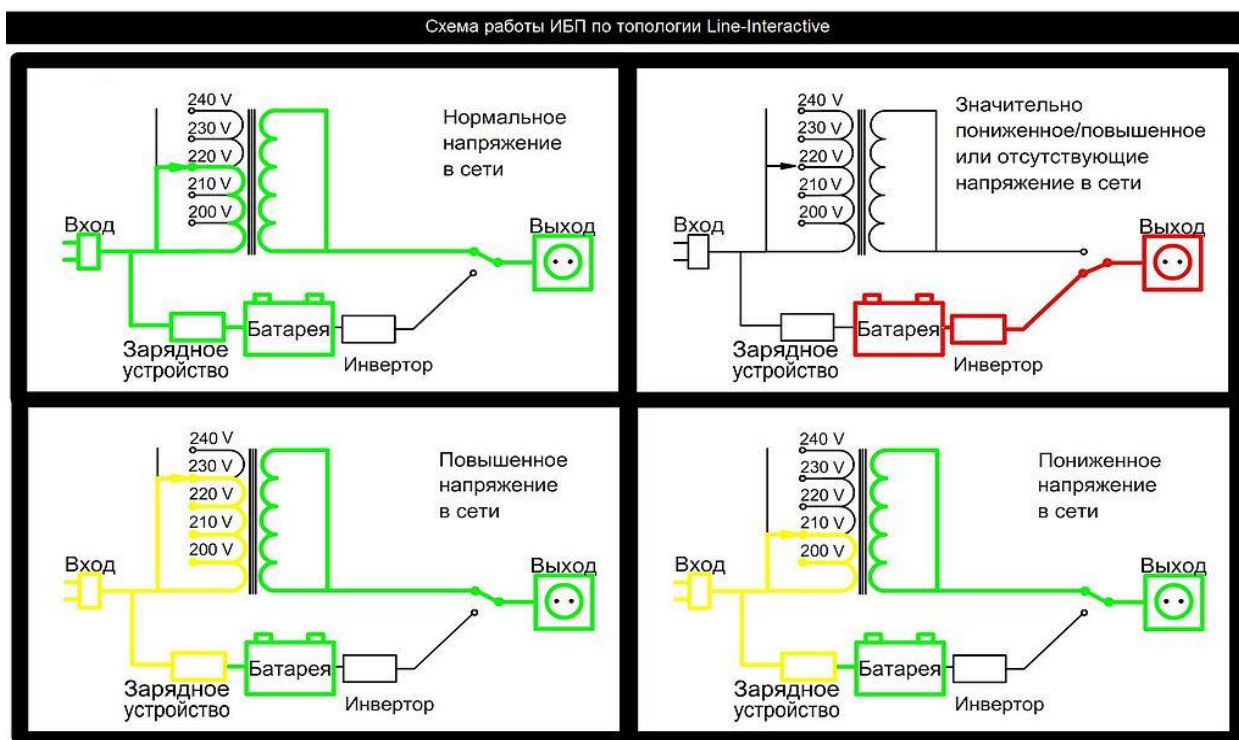


Рисунок 2 – Работа ИБП по интерактивному принципу работы

Двойное преобразование (Рис. 3)

Режим двойного преобразования (англ. online, double-conversion, он-лайн) – используется для питания нагруженных серверов (например, файловых), высокопроизводительных рабочих станций локальных вычислительных сетей, а также любого другого оборудования, предъявляющего повышенные требования к качеству сетевого электропитания. Принцип работы состоит в двойном преобразовании (double conversion) рода тока. Сначала входной переменный ток преобразуется в постоянный, затем обратно в переменный ток с помощью обратного преобразователя (инвертора). При пропадании входного напряжения переключение нагрузки на питание от аккумуляторов не требуется, поскольку аккумуляторы включены в цепь постоянно (т. н. буферный режим работы аккумулятора) и для этих ИБП параметр «время переключения» не имеет смысла. В маркетинговых целях может использоваться фраза «время переключения равно 0», правильно отражающая основное преимущество данного вида ИБП: отсутствие промежутка времени между пропаданием внешнего напряжения и началом питания от батарей. ИБП двойного преобразования имеют невысокий КПД (от 80 до 96,5%) в режиме on-line, из-за чего отличаются повышенным тепловыделением и уровнем шума. Однако у современных ИБП средних и высоких мощностей ведущих производителей предусмотрены разнообразные интеллектуальные режимы, позволяющие автоматически подстраивать режим работы для повышения КПД вплоть до 99%. В отличие от двух предыдущих схем, способны корректировать не только напряжение, но и частоту (VFI по классификации МЭК).

Достоинства:

- отсутствие времени переключения на питание от батарей;
- синусоидальная форма выходного напряжения, то есть возможность питать любую нагрузку, в том числе отопительные системы (в которых есть асинхронные двигатели);
- возможность корректировать и напряжение, и частоту (более того, такой прибор одновременно является и самым лучшим из возможных стабилизаторов напряжения).

Недостатки:

- Низкий КПД (80-94%), повышенная шумность и тепловыделение. Практически всегда прибор содержит вентилятор компьютерного типа, и потому не бесшумен (в отличие от line-interactive ИБП).
- Высокая стоимость. Примерно вдвое-втрое выше, чем line-interactive.

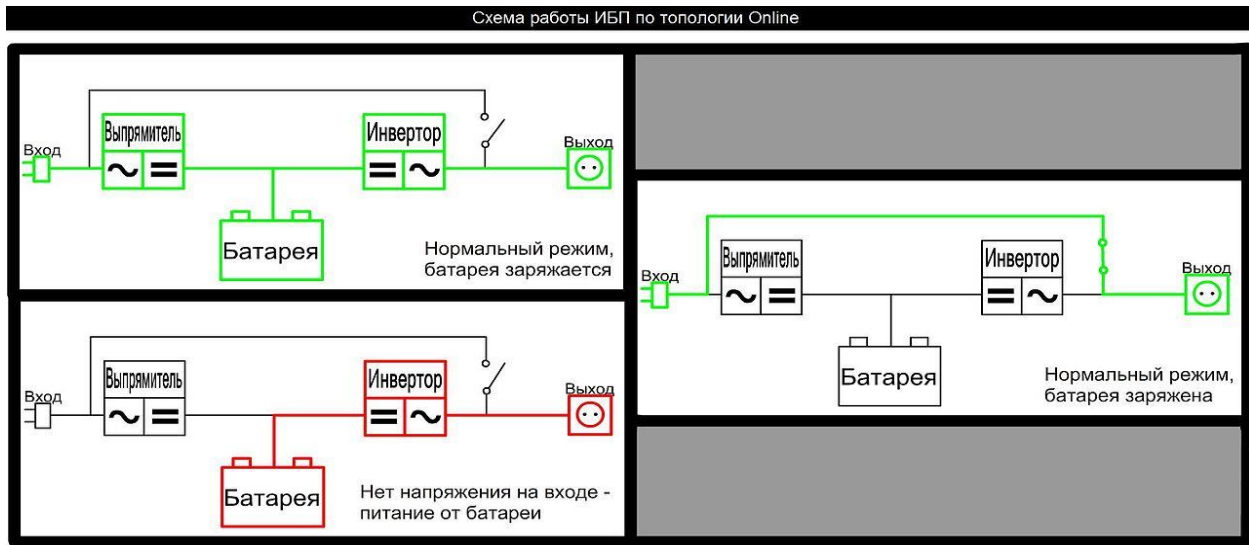


Рисунок 3 – Работа ИБП по принципу двойного преобразования

Принципиальные схемы силовой цепи ИБП малой и средней мощности приведены на рисунках 4 и 5.

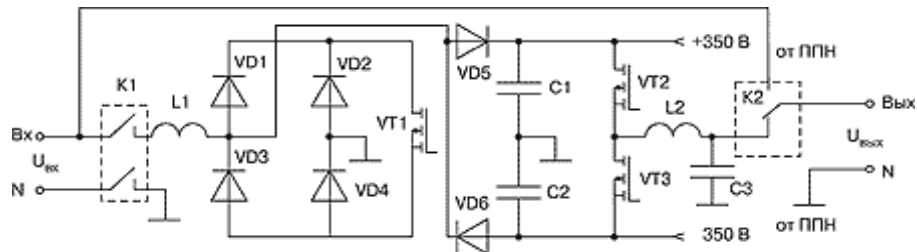


Рисунок 4 – Принципиальная схема силовой цепи ИБП малой мощности

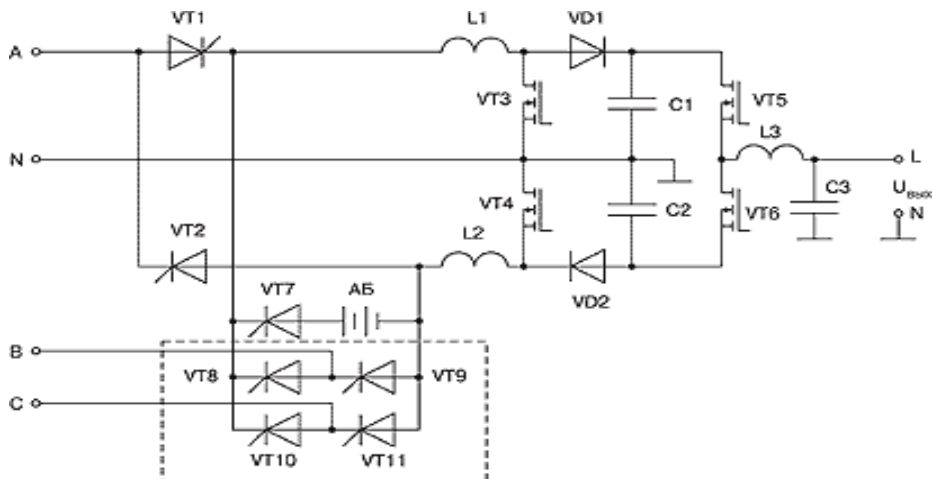


Рисунок 5 – Принципиальная схема силовой цепи ИБП средней мощности

Назначение и описание узлов силовой цепи ИБП

Выпрямитель и корректор коэффициента мощности (ККМ-В) выполняет три функции:

- осуществляет преобразование напряжения сети переменного тока в стабилизированное напряжение постоянного тока, обеспечивая питание инвертора стабильным напряжением постоянного тока 700-800 В;
- обеспечивает потребление из сети входного тока, совпадающего по фазе с напряжением сети, и практически синусоидальной формы, в независимости от характера нагрузки ИБП, что позволяет иметь входной коэффициент мощности близким к единице;
- обеспечивает мягкий старт для уменьшения пускового входного тока ИБП.

Инвертор (ИНВ) преобразует напряжение постоянного тока в синусоидальное напряжение 50 Гц.

Перегрузочные способности ИБП являются одним из важных потребительских показателей, т.к. позволяют оптимально выбирать номинальную мощность ИБП при подключении нагрузок, обладающих большими пусковыми токами или при использовании ИБП в технологических процессах с кратковременными периодическими пиковыми нагрузками.

Преобразователь DC/DC (ППН) в ИБП малой мощности обеспечивает повышение и стабилизацию напряжения аккумуляторной батареи (АБ) до уровня, необходимого для надежной работы инвертора в автономном режиме. Принципиальная схема ППН представляет собой двухтактный дифференциальный высокочастотный преобразователь на двух группах параллельно включенных силовых транзисторов и высокочастотном трансформаторе, мощность которого с учетом потерь в инверторе должна превышать выходную мощность ИБП (рис. 4). Транзисторы управляются сигналами (30 кГц) с микросхемы ШИМ контроллера типа UC3525, который в свою очередь получает сигналы разрешения работы с платы управления ИБП и сигнал о величине высоковольтного напряжения питания инвертора.

К дифференциальной выходной обмотке высокочастотного трансформатора подключены две группы диодов, обеспечивающие выпрямление и формирование на конденсаторах С1, С2 (рис.4) высоковольтного напряжения постоянного тока +350, -350 В относительно общей шины для питания инвертора в автономном режиме работы ИБП.

Зарядное устройство (ЗУ) обеспечивает заряд АБ при работе ИБП в сетевом режиме. В качестве АБ используются последовательно включенные герметичные (необслуживаемые) свинцово-кислотные аккумуляторы. Максимальное выходное напряжение ЗУ устанавливается из условия 2,3 В/ячейка. ЗУ в ИБП малой мощности получает питание непосредственно от сети через собственный выпрямительный мост и сглаживающую емкость. Кроме заряда батареи, ЗУ обеспечивает питание ВИП в сетевом режиме и питание обмотки управления реле К1 (рис. 4). Принципиальная схема ЗУ выполняется на одноконтурном высокочастотном преобразователе (30 кГц), содержащим силовой транзистор и высокочастотный трансформатор. Управление силовым транзистором осуществляется сигналом с микросхемы ШИМ контроллера типа UC3845.

В ИБП средней мощности основное зарядное устройство (ЗУ) подключено к шине стабильного высоковольтного напряжения постоянного тока и выполнено по схеме DC/DC преобразователя (рис. 3). ЗУ выполняется по схеме двухтактного дифференциального высокочастотного преобразователя с частотой коммутации силовых транзисторов 20-30 кГц. Использование стабильного высоковольтного напряжения 700-800 В с выходных шин ККМ позволяет получить высокий КПД ЗУ. В ИБП мощностью 6-10 кВА такое зарядное устройство обеспечивает зарядный ток 3-4 А при номинальном напряжении АБ 240 В. В

качестве АБ используются последовательно включенные герметичные (необслуживаемые) свинцово-кислотные аккумуляторы.

При наличии дополнительной внешней аккумуляторной батареи (АБ) используется дополнительное зарядное устройство (ДЗУ), выполняемое по схеме AC/DC преобразователя и подключенное к сети.

Блок коммутации (Байпас) автоматически обеспечивает цепь подключения нагрузки непосредственно к сети при аномальных режимах работы ИБП (перегрузке, перегреве, выходе из строя одного из узлов ИБП). Двухпозиционное реле К2 в ИБП малой мощности (рис. 4) срабатывает от сигнала с платы управления и обеспечивает переключение выхода ИБП с инвертора на сеть (режим Байпас) и наоборот. Контакты входного реле К1 блока коммутации замыкаются при наличии напряжения с блока ЗУ при подключении ИБП к сети и сигнала разрешения от платы управления, который возникает, если подтверждается, что входное напряжение и другие системные параметры ИБП находятся в норме.

В ИБП средней мощности (рис. 5) блок коммутации выполняется на тиристорах, осуществляющих по сигналу с платы управления переключение нагрузки с выхода инвертора на сеть и наоборот.

Вторичный источник питания (ВИП) формирует ряд низковольтных напряжений постоянного тока (5, 12, 15, 24 В) для обеспечения питанием различных цепей систем управления блоков силовой платы, питание платы управления и вентиляторов. Питание блока ВИП осуществляется от ЗУ при сетевом режиме или от батареи при автономном режиме.

Принципиальная схема ВИП выполняется на одноканальном высокочастотном преобразователе. Выход из строя ВИП приводит к общей неисправности ИБП и переключение нагрузки на Байпас.

Литература

1. Климов В.П., Портнов А.А., Зуенко В.В. Топологии источников бесперебойного питания переменного тока, Электронные компоненты, №7, 2003.
2. Климов В.П., Климова С.Р. Энергетические показатели ИБП переменного тока, Электронные компоненты, №4, 2004
3. Климов В.П., Федосеев В.И. Схемотехника однофазных корректоров коэффициента мощности, Практическая силовая электроника, 2002г., вып.8.

УДК 621.382.233

УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПИРАЕМЫХ ТИРИСТОРОВ

Ржеусская А.Д., Корнюшко О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Рассмотрим устройство тиристорв ГТО. Запираемый тиристор - полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого классическая четырёхслойная структура (Рисунок 1). Включают и выключают его подачей положительного и отрицательного импульсов тока на электрод управления. Различия в структурах приборов заключается в ином расположении горизонтальных и вертикальных слоёв с *n*- и *p*-проводимостями. Наибольшему изменению подверглось устройство катодного слоя *n* (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Запираемый тиристор

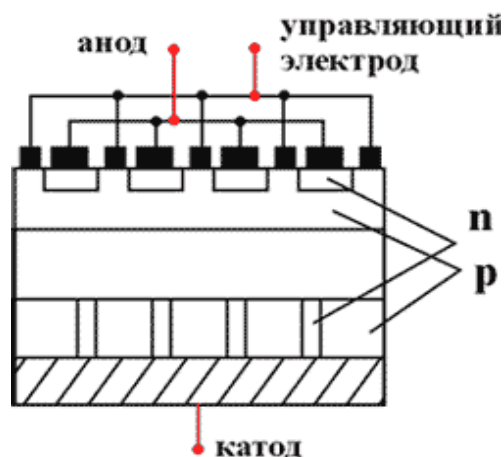


Рисунок 2 – Структура запираемого тиристора

Он разбит на несколько сотен элементарных ячеек, равномерно распределённых по площади и соединённых параллельно. Такое исполнение вызвано стремлением обеспечить равномерное снижение тока по всей площади полупроводниковой структуры при выключении прибора. Базовый слой *p*, несмотря на то, что выполнен как единое целое, имеет большое число контактов управляющего электрода (примерно равное числу катодных ячеек), также равномерно распределённых по площади и соединённых параллельно. Базовый слой *n* выполнен аналогично соответствующему слою обычного тиристора. Анодный слой *p* имеет шунты (зоны *n*), соединяющие *n*-базу с анодным контактом через небольшие распределённые сопротивления. Анодные шунты применяют в тиристорах, не обладающих обратной блокирующей способностью. Они предназначены для уменьшения времени выключения прибора за счёт улучшения условий извлечения зарядов из базовой области *n*.

Основное исполнение тиристорв ГТО таблеточное с четырёхслойной кремниевой пластиной, зажатой через термокомпенсирующие молибденовые диски между двумя медными основаниями, обладающими повышенной тепло- и электропроводностью. С кремниевой пластиной контактирует управляющий электрод, имеющий вывод в керамическом корпусе. Прибор зажимается контактными поверхностями между двумя половинами охладителей, изолированных друг от друга и имеющих конструкцию, определяемую типом системы охлаждения.

Управление запираемым ГТО тиристором от источника однополярного напряжения: Эта схема используется в преобразователе с внешним возбуждением на ГТО тиристоре мощностью 1200 Вт с частотой 20 кГц (Рисунок 3). При переключении транзистора Т1 из включенного состояния в выключенное и обратно, к управляющему электроду тиристора поступают как положительные (включающие) так и отрицательные (выключающие) импульсы. Амплитуда отрицательного импульса почти вдвое превышает напряжение

источника питания этого драйвера. К сожалению, для наших условий (малая длительность и частота повторения импульсов) КПД этой схемы низок, большую часть времени транзистор Т1 будет открыт рассеивая мощность на резисторе R3. Так же важным параметром для тиристорных ГТО является длительность включающего импульса. При некоторых условиях (слабая нагрузка, высокая температура) ГТО тиристор может испытывать трудности быстрого защёлкивания в состояние насыщения, если запускается очень короткими импульсами, при более длительных импульсах проблема исчезает. Более выгодным решением будет использование двухтактного выходного каскада на комплементарных парах транзисторов с двухполярным источником питания.

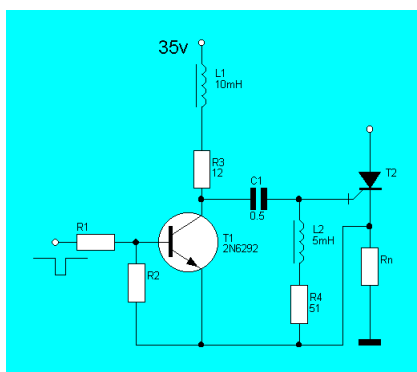


Рисунок 3 – Управление запираемым ГТО тиристором от источника однополярного напряжения

Принцип действия: В цикле работы тиристора ГТО различают четыре фазы: включение, проводящее состояние, выключение и блокирующее состояние.

Фаза 1 - включение. Переход тиристорной структуры из блокирующего состояния в проводящее (включение) возможен только при приложении прямого напряжения между анодом и катодом.

Фаза 2 - проводящее состояние. В режиме протекания прямого тока нет необходимости в токе управления, если ток в цепи анода превышает величину тока удержания.

Фаза 3 - выключение. Для выключения тиристора ГТО при неизменной полярности напряжения к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается напряжение отрицательной полярности UGR. Оно вызывает ток выключения, протекание которого ведёт к рассасыванию основных носителей заряда (дырок) в базовом слое p.

Фаза 4 - блокирующее состояние. В режиме блокирующего состояния к управляющему электроду и катоду остаётся приложенным напряжение отрицательной полярности от блока управления.

Всё время выключения и блокирующего состояния система управления формирует импульс отрицательной полярности.

Защитные цепи: Использование тиристорных ГТО, требует применения специальных защитных цепей. Назначение любой защитной цепи - ограничение скорости нарастания одного из двух параметров электрической энергии при коммутации полупроводникового прибора. При этом конденсаторы защитной цепи СВ подключают параллельно защищаемому прибору Т.

Дроссели LE устанавливаются последовательно с прибором Т. Они ограничивают скорость нарастания прямого тока dI/dt при включении тиристора. Значения dU/dt и dI/dt для каждого прибора нормированы, их указывают в справочниках и паспортных данных на приборы. Кроме конденсаторов и дросселей, в защитных цепях используют дополнительные элементы, обеспечивающие разряд и заряд реактивных элементов. К ним относятся: диод ДВ, который шунтирует резистор RB при выключении тиристора Т и заряде конденсатора СВ, резистор RB, ограничивающий ток разряда конденсатора СВ при включении тиристора Т (Рисунок 4).

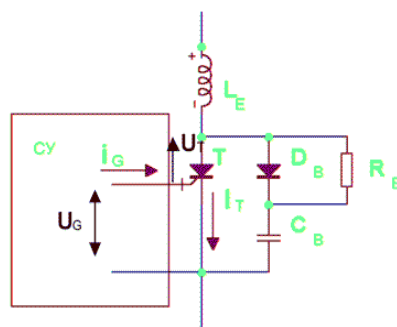


Рисунок 4 – Схема защитной цепи

Рассмотрим тиристоры GCT

В середине 90-х годов фирмами "ABB" и "Mitsubishi" был разработан новый вид тиристоров Gate Commutated Thyristor (GCT). Собственно, GCT является дальнейшим усовершенствованием GTO, или его модернизацией. Однако, принципиально новая конструкция управляющего электрода, а также заметно отличающиеся процессы, происходящие при выключении прибора, делают целесообразным его рассмотрение. GCT разрабатывался как прибор, лишённый недостатков, характерных для GTO, поэтому сначала необходимо остановиться на проблемах, возникающих при работе GTO.

Особенность управления и конструкции: Основной особенностью тиристоры GCT, по сравнению с приборами GTO, является быстрое выключение, которое достигается как изменением принципа управления, так и совершенствованием конструкции прибора. Быстрое выключение реализуется превращением тиристорной структуры в транзисторную при запираии прибора. GCT в фазах включения, проводящего и блокирующего состояния управляется также, как и GTO. При выключении управление GCT имеет две особенности:

- ток управления I_g равен или превосходит анодный ток I_a (для тиристоры GTO I_g меньше в 3 - 5 раз);
- управляющий электрод обладает низкой индуктивностью, что позволяет достичь скорости нарастания тока управления di_g/dt , равной 3000 А/мкс.

Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении. На рисунке 5 показано распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении прибора. Как указывалось, процесс включения подобен включению тиристоры GTO. Процесс выключения отличен. После подачи отрицательного импульса управления ($-I_g$) равного по амплитуде величине анодного тока (I_a), весь прямой ток, проходящий через прибор, отклоняется в систему управления и достигает катода, минуя переход j_3 (между областями p и n). Переход j_3 смещается в обратном направлении, и катодный транзистор при закрывается. Дальнейшее выключение GCT аналогично выключению любого биполярного транзистора, что не требует внешнего ограничения скорости нарастания прямого напряжения du/dt и, следовательно, допускает отсутствие снабберной цепочки.

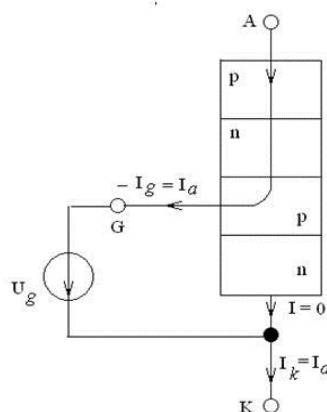


Рисунок 5 – Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении

Сейчас тиристоры GTO производят несколько крупных фирм Японии и Европы: "Toshiba", "Hitachi", "Mitsubishi", "ABB", "Eupec". Параметры приборов по напряжению UDRM : 2500 В, 4500 В, 6000 В; по току ITGQM (максимальный повторяющийся запираемый ток): 1000 А, 2000 А, 2500 А, 3000 А, 4000 А, 6000 А. Тиристоры GCT выпускают фирмы "Mitsubishi" и "ABB". Приборы рассчитаны на напряжение UDRM до 4500 В и ток ITGQM до 4000 А. В настоящее время тиристоры GCT и GTO освоены на российском предприятии ОАО "Электровыпрямитель" (г. Саранск). Выпускаются тиристоры серий ТЗ-243, ТЗ-253, ТЗ-273, ЗТА-173, ЗТА-193, ЗТФ-193 (подобен GCT) и др. с диаметром кремниевой пластины до 125 мм и диапазоном напряжений UDRM 1200 - 6000 В и токов ITGQM 630 - 4000 А.

Рассмотрим применение запираемых тиристоров. В целом применение тиристоров можно разделить на 4 группы:

- силовые ключи – переключатели переменного напряжения (Рисунок 6). Одним из определяющих моментов, влияющих на востребованность подобных схем, выступает низкая мощность, которая рассеивается тиристором в схемах переключения. В закрытом состоянии мощность практически не рассеивается из-за того, что ток практически равен нулю. А в открытом состоянии рассеиваемая мощность незначительна благодаря небольшим значениям напряжения;

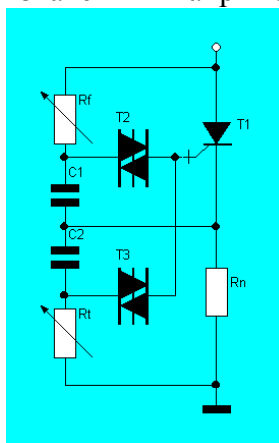


Рисунок 6 – Схема силового ключа

- пороговые устройства – в них задействовано основное свойство тиристора – открываться (пропускать ток) при достижении напряжением определенного значения. Эта группа схем особенно активно используется в фазовых регуляторах мощности и релаксационных генераторах;
- подключение постоянного тока – для прерывания, включения/выключения используются запирающие тиристоры;
- экспериментальные устройства – в них используется свойство тиристора иметь отрицательное сопротивление, пребывая в переходном режиме.

Литература

1. Электронный ресурс: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/tiristor.htm>
2. Электронный ресурс: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/00_06/stat_40.htm
3. Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тиристор>
4. Электронный ресурс: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejjstvija.html>
5. Электронный ресурс: http://moskatov.narod.ru/Books/The_electronic_technics/Thyristors.html

УДК 644.36

АНТИЛАЗЕРЫ

Кулага Т.А., Прокопенко К.В., Валендюк М.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

Лазер — это устройство, создающее узкий пучок интенсивного света. В работе лазера используется свойство электронов атома занимать только определенные орбиты вокруг своего ядра. Когда атом получает квант энергии, он может перейти в возбужденное состояние, которое характеризуется перемещением электронов с самой низкой энергетической орбиты (так называемый основной уровень) на орбиту с более высоким энергетическим уровнем. Однако электроны не могут долго оставаться на орбите с высокой энергией и самопроизвольно возвращаются на основной уровень, при этом каждый такой электрон испускает фотон (световую волну).

Лазер обычно состоит из трёх основных элементов:

- Источник энергии (механизм «накачки» лазера).
- Рабочее тело лазера.
- Система зеркал («оптический резонатор»).

Процесс, начавшийся в одном атоме, запускает цепную реакцию перехода электронов других атомов на более низкие энергетические орбиты, в результате чего образуется лавина одинаковых световых волн, согласованно изменяющихся во времени. Эти волны формируют световой луч, который у некоторых лазеров имеет столь высокую мощность, что может резать камни и металлы. Изобретенные в 1960 году, лазеры имеют сейчас очень широкую сферу применения, начиная от медицины (для удаления опухолей) и заканчивая музыкой (для записи и считывания сигналов на компакт-дисках).

Антилазер, в идее "антилазера" заложен ровно противоположный лазеру принцип.

Лазер - это устройство, позволяющее усиливать излучение строго определенной частоты, и, в итоге, давать очень "чистый" луч света, не содержащий "примесей" других частот. Ученые предложили прибор, который не усиливает определенные волны, а избирательно поглощает их.

Концепция когерентного идеального поглотителя была предложена группой физиков из Йельского университета, возглавляемой Дугласом Стоуном. *Physical Review Letters* опубликовал её 26 июля 2010 года. Необычные свойства "антилазеру" должен придать находящийся внутри него материал, который бы поглощал большую часть попадающих на него фотонов подходящей частоты, а оставшиеся не поглощенными волны взаимоуничтожились бы благодаря интерференции.

Антилазер — популярное название когерентного идеального поглотителя (coherent perfect absorber (CPA)), то есть механизма поглощения когерентного светового излучения с определённой длиной волны. При этом энергия излучения преобразуется в тепловую энергию.

В феврале 2011 года физикам удалось создать первый действующий антилазер. Ученые показали, что лазерные лучи "запираются" между поверхностями пластины, где их энергия поглощается атомами ее объема с выделением тепла. Исследователям удалось достичь поглощения 99,4% света, в дальнейшем они надеются добиться эффективности 99,9%. На практике учёные осуществили это следующим образом. Инфракрасный луч титан-сапфирового лазера разделялся на два, которые при помощи системы зеркал вновь

сходились в кремниевой подложке. При определённой разности фаз лучей энергия фотонов «сжатых» в подложке, превращалась в тепловую. Однако, этот прототип поглощал только 99,4 % входящего излучения.

Антилазер не предназначен для защиты от лазерного оружия высокой мощности. "Энергия преобразуется в тепло. Так что если кто-то направит на вас лазер достаточной мощности, чтобы вас зажарить, антилазер вас от зажаривания не защитит", - предупредил руководитель группы ученых профессор Дуглас Стоун.

Подобные устройства, по мнению профессора Стоуна, могут использоваться как оптические переключатели, детекторы и другие компоненты в компьютерах, а также в радиологии - для направления лазерного излучения в маленькую область ткани человеческого организма для терапевтических или диагностических целей.

Изготовить антилазер, рассчитанный на различные длины волн, достаточно просто. Но вот антилазер, пригодный для установки в компьютеры, работающие на оптических принципах, должен быть рассчитан на строго определенную длину волны.

Значительное преимущество антилазера состоит в том, что он изготавливается из кремния, который уже и без того широко применяется при изготовлении компьютеров.

Оптические компьютеры — гипотетические вычислительные устройства, вычисления в которых производятся с помощью фотонов, сгенерированных лазерами или диодами. Большинство исследований фокусируется на замене обычных (электронных) компонентов компьютера на их оптические эквиваленты. Результатом станет новая цифровая компьютерная система для обработки двоичных данных. Такой подход дает возможность в краткосрочной перспективе разработать технологии для коммерческого применения, поскольку оптические компоненты могут быть внедрены в стандартные компьютеры, сначала создавая гибридные системы, а впоследствии и полностью фотонные. Однако опто-электронные приборы теряют 30 % энергии на конвертацию электронов в фотоны и обратно. Это также замедляет передачу информации в опто-электронных повторителях.

Профессор Массачусетского технологического института Марин Солянич: "Это совершенно оригинально и действительно впечатляюще, что в настолько сложившуюся область науки кто-то может привнести нечто фундаментально новое".

УДК 620.9(075.8)

ДОРОГИ, ВЫРАБАТЫВАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Ролейно Т.Г., Самойленко Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

Идея создать Солнечную Дорогу (SolarRoadway) пришла инженерам Джули и Скотту Брюсау, когда весь мир всерьез обеспокоился проблемой глобального потепления. Концепция заключается в том, чтобы заменить асфальт и бетон на дорогах модульными панелями, обладающими функциями солнечных батарей, координаторов движения и прочими полезностями.

Солнечная батарея – несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Конструктивно фотоэлектрический солнечный модуль представляет собой электрически соединенные между собой фотоэлементы, имеющие выходные клеммы для подключения нагрузок. Каждый фотоэлемент содержит в себе 2 полупроводниковых слоя: положительный и отрицательный. На один слой кремния наносится определенное вещество, благодаря которому появляется избыток электронов. Так образуется отрицательно заряженный n-слой. На другом слое создается недостаток электронов, и он становится положительно заряженным (p-слой). В комбинации с проводниками эти n- и p-поверхности образуют светочувствительный электронно-дырочный переход. При попадании фотона света на фотоэлемент, создается электродвижущая сила, создающая во внешнем контуре направленное движение электронов. Сила тока пропорциональна световой энергии (количеству фотонов) и размеру солнечного элемента.

Сейчас фотоэлементы изготавливают из самых различных материалов, используя широкий набор технологий и подходов к производству. Однако, принцип их работы, основанный на использовании фотогальванического эффекта – повышении разности потенциалов в полупроводнике с n-p переходом под воздействием квантов солнечного света, – остается единым. Правильно смонтированная солнечная батарея будет надежным и экологичным источником энергии в течение долгих лет.

Фотоэлементы можно разделить на две основные группы: кристаллические кремниевые и тонкопленочные. Кристаллические кремниевые фотоэлементы состоят из двух слоев: внутреннего, изготавливаемого из сверхчистого кристаллического кремния, и внешнего – из «загрязненного» кремния, получаемого путем добавления к основному материалу определенного количества примесей, например, фосфора. Верхний слой p-n перехода, который обладает избытком электронов, соединен с металлическими пластинами, выполняющими роль положительного электрода, пропускающими свет и придающими элементу дополнительную жесткость. Нижний слой в конструкции солнечной батареи имеет недостаток электронов и к нему приклеена сплошная металлическая пластина, выполняющая функцию отрицательного электрода.

Технология, по которой изготовлена солнечная батарея, влияет на её КПД. Считается, что в идеале солнечная батарея имеет близкий к 20% КПД. Однако, на практике и по данным специалистов он примерно равен всего 10%. При этом для некоторых солнечных батарей их КПД больше, для иных – меньше. В основном это зависит от технологии, по которой выполнен p-n переход. Самыми ходовыми и имеющими наибольший КПД продолжают являться солнечные батареи, изготовленные на основе монокристалла или поликристалла кремния. Причем вторые из-за относительной дешевизны становятся все распространеннее. К какому типу конструкции относится солнечная батарея, можно определить невооруженным глазом. Монокристаллические светопреобразователи имеют исключительно чёрно-серый цвет, а модели на основе поликристалла кремния выделяет синяя поверхность. Поликристаллические солнечные батареи, изготавливаемые методом литья, оказались более

дешевыми в производстве. Однако и у поли-, и у монокристаллических пластин есть один недостаток — конструкции солнечных батарей на их основе не обладают гибкостью.

Ситуация изменилась с появлением в 1975 году солнечной батареи на основе аморфного кремния, активный элемент которых имеет толщину от 0,5 до 1 мкм, обеспечивая им гибкость. Толщина обычных кремниевых элементов достигает 300 мкм. Однако, несмотря на светопоглощаемость аморфного кремния, которая примерно в 20 раз выше, чем у обычного, эффективность солнечных батарей такого типа не превышает 12%. Для моно- и поликристаллических вариантов он может достигать 17% и 15%, соответственно.

Мощность потока солнечного излучения на входе в атмосферу Земли составляет около 1366 Вт/м². В то же время, удельная мощность солнечного излучения в Европе в очень облачную погоду даже днём может быть менее 100 Вт/м². С помощью распространённых промышленно производимых солнечных батарей можно преобразовать эту энергию в электричество с эффективностью 9...24%. При этом цена батареи составит около 1...3 долларов за Ватт номинальной мощности. При промышленной генерации электричества с помощью фотоэлементов цена за кВт·ч составит 0,25 доллара. По мнению Европейской Ассоциации Фотовольтаики (EPIA), к 2020 году стоимость электроэнергии, вырабатываемой «солнечными» системами, снизится до уровня менее 0,10 € за кВт·ч для промышленных установок и менее 0,15 € за кВт·ч для установок в жилых зданиях [1].

У предпринимателей Скотта и Джулии Брушоу родилась потрясающая идея о том, чтобы все дорожное покрытие могло производить электроэнергию с помощью солнца. Супруги Брушоу при поддержке Министерства транспорта США и краудфандингового веб-сайта Indiegogo спроектировали футуристические шоссе. Их солнечные дороги – это сотовые конструкции из соединённых между собой шестиугольников с особой стеклянной поверхностью, выдерживающей нагрузки современных автомагистралей.

Каждая пластина состоит из четырёх слоев: верхний слой – переработанное стекло, под ним – светодиоды, третий – технологический слой и нижний – несущая конструкция, изготовленная из продуктов вторичной переработки. Панели выдерживают массу в 113 тонн и имеют форму шестиугольников, каждый из которых вырабатывает до 7,6 кВт·ч в день. Супруги Брюсау утверждают, что если покрыть такими солнечными панелями все дороги США, они будут вырабатывать в 3 раза больше энергии, чем потребляет все население Америки.

Эта солнечная дорога не только революционна в вопросах новых источников энергии, она так же умна, ибо состоит не только из фотоэлементов, но и из светодиодов и микросхем. Например, если в тёмное время суток на неё наступит человек, то он окажется подсвеченным снизу и за 200 метров от него по обе стороны на солнечной дороге высветится надпись «Снизить скорость, прямо по курсу пешеход».

Дорожная солнечная панель может быть также оснащена системой подогрева для защиты покрытия от снега и льда. В будущем электромобили смогут заряжать свои аккумуляторы, получая питание прямо с покрытия или на парковках, что сделает электрический транспорт более практичным. Панели могут стать основой «умной» дороги, которая сама будет следить за безопасностью движения, предотвращать образование пробок.

Преимущества Солнечной Дороги:

8. Энергоэффективность и возобновляемость энергии: панели работают по принципу солнечных батарей, превращая солнечный свет в электричество.
9. Дешевая электроэнергия: построенная Солнечная Дорога самокупаема, а затраты на ее обслуживание в разы меньше, чем обслуживание обычных дорог.
10. Безопасность на дорогах: панели определяют вес предмета, находящегося на их поверхности, и распознают машина это или человек (животное), переходящий дорогу. Затем панель передает сигнал о пешеходе другим модулям, дорога вокруг пешехода начинает светиться, предупреждая водителя.

11. Модульность: каждая панель оснащена системой оповещения о неполадках. Как только на ней появится малейшее повреждение, она тут же сообщит об этом в центр управления, а для ее замены потребуется всего один человек.
12. Очищение от снега: панели могут нагреваться, избавляясь от снега самостоятельно. Растаявшая вода стекает в резервуары сбоку дороги, а оттуда в стоки. Таким образом, дороги всегда расчищены, а лед на них образоваться не может.
13. Экологичность: панели изготовлены по большей мере из переработанного пластика, но их работа не несет вреда окружающей среде.
14. Минимальные потери вырабатываемой энергии: каждый участок Солнечной Дороги снабжает близлежащие дома или производства.

Безусловно, разработка достойна внимания. Однако дороговизна (7000 долларов за одну модульную панель) делает ее применение на практике нерациональной в рамках строительства небольших масштабов. Для таких проектов существуют более применяемые и эргономичные технологии, например, солнечные накопители.

В Нидерландах появилась первая в мире велосипедная дорожка из солнечных панелей. В ходе строительных работ был открыт 70-метровый участок дороги, являющейся частью проекта SolaRoad по созданию энергопродуцирующих дорог общего пользования. В 2016 году протяженность солнечной велодорожки увеличилась еще на 100 метров. Полученной таким способом энергии хватит, чтобы обеспечить электричеством три жилых дома поблизости.

Велодорожка состоит из бетонных плит со встроенными солнечными модулями с высокопрочным покрытием из стекла. На производительность дороги влияют такие факторы, как угол падения солнечных лучей, грязь и пыль. Разработчики говорят, что дорожный модуль производит на 30% меньше электричества, чем аналогичный на крыше здания. Тем не менее, смысл в таких солнечных установках есть – они дополняют уже существующие дорожные сооружения. По оценкам компании, солнечные дороги способны окупить себя за 20 лет.

Правительство Франции одобрило проект по покрытию дорог общего пользования солнечными батареями – в ближайшие 5 лет в стране будет построено 1000 километров полотна из прочных фотоэлектрических панелей. Разработка проекта велась на протяжении нескольких последних лет по инициативе Национального института солнечной энергии. Многие эксперты отнеслись к идее скептически (вопросы были к стоимости, безопасности и малой эффективности по сравнению с батареями на более открытых участках), но все же проект был одобрен.

Дороги будут строиться из панелей Wattway – с укрепленной конструкцией и 15-сантиметровыми фотоэлектрическими блоками из тонкой пленки поликристаллического кремния на покрытой смолой подложке. Толщина Wattway составляет всего 7 мм. Разработчики уверяют, что сверхтонкие панели способны адаптироваться к температурной деформации дороги и, благодаря слоистой структуре, как минимум не уступают традиционным покрытиям в части сцепных свойств. Кроме того, первые испытания такого полотна показали абсолютное безразличие к массе машин и достаточную износостойкость. Делается все это ради обеспечения возобновляемыми источниками энергии около 5 млн. человек (что составляет 8% населения Франции). По расчетам, Солнечные Дороги будут заняты автомобилями всего около 10% времени, а 20 квадратных метров покрытия позволяют обеспечить электроэнергией один «средний» дом.

Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Танака, С. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением / С. Танака, Р. Суда, – Москва: Стройиздат, 1989. – 163 с.

УДК 621.33

ИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Грицук А. А., Ковалёва К. И.

Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О. А.

Основа ионолёта – ионный двигатель. Ионные двигатели были впервые предложены еще К. Э. Циолковским. Годдард в 1906 г. писал о том, что электрически заряженные частицы могут применяться для создания тяги. Подробнее о возможностях применения «электрического ветра» для обеспечения космических полетов рассказал через двадцать три года в книге «Вопросы космических полетов» Оберт, указавший, в частности, что русский исследователь Улинский предложил конструкцию ионного двигателя еще в 1923 г.

Затем последовал целый ряд теоретических разработок. Естественно потому, что ионные двигатели наиболее изучены по сравнению с другими двигателями будущего, предназначенными для получения очень больших скоростей.

В 1954 г. Штулингер описал особенности ионных двигателей и предложил ввести характеристики, позволяющие оценивать степень мощности совершенства их конструкции. Наиболее важный из этих показателей — удельная мощность, т. е. мощность (в кВт), полученная на каждый килограмм массы установки.

Штулингер в развитие идеи Циолковского предложил в качестве рабочих веществ для ионных двигателей цезий и рубидий. Эти два металла выбраны потому, что их атомы обладают сравнительно большим весом и, вместе с тем, хорошо ионизируются. Цезий по сравнению с другими щелочными металлами имеет наиболее низкую температуру плавления (35°C) и теплоту парообразования, наибольшие плотность ($1,873 \text{ г/см}^3$) и выход ионов.

Поток ионов должен быть хорошо сфокусирован, чтобы они не попадали на ускоряющие электроды, так как это вызывает интенсивную эрозию — размывание электродов. Следует отметить, что, поскольку одноименно заряженные частицы взаимно отталкиваются, достигаемая плотность их потока существенно ограничивается. Скорость ионов зависит от напряженности поля, от природы и величины давления газа. Струя разогнанных ионов проходит вдоль разогретого электрода — эмиттера, с которого в нее стекают электроны. В результате образуется поток стремительно отбрасываемых нейтральных атомов.

Возникает вопрос, почему необходимо нейтрализовать ионы, покидающие ракету? К этому приходится прибегать ввиду следующего обстоятельства. При выбрасывании только одних положительно заряженных ионов накапливался бы пространственный заряд. Корпус аппарата очень быстро зарядился бы до такого высокого отрицательного потенциала, что дальнейшее выбрасывание ионов стало затруднительным и электрический заряд корпуса ракеты начал «всасывать» ионы обратно, внутрь ракеты. Чтобы избежать этого, ионы необходимо нейтрализовать. В конечном счете образуется поток атомов цезия, который беспрепятственно покинет ракету.

Нейтрализация ионов обеспечивает также возможность получения большей плотности струи рабочего тела, вытекающей из сопла. Следует также отметить, что при нейтрализации иона, захватывающего электрон, высвобождается примерно в 100 раз большая энергия, чем та, которая может быть получена в ходе химических реакций — наиболее эффективных в энергетическом отношении. И хотя энергия рекомбинации ионов незначительна по сравнению с энергией, приобретаемой ими при разгоне в электрических полях, она все же может быть использована для некоторого дополнительного разогрева вытекающего рабочего тела.

Теоретически ионный двигатель может обеспечить очень большую удельную тягу. Однако на пути практического решения этой задачи возникают серьезные затруднения. Удельная тяга прямо пропорциональна скорости ионов. В то же время мощность, необходимая для разгона струи ионов, и вместе с ней вес энергосилового устройства

возрастают примерно пропорционально квадрату скорости ионов. Очевидно, что за увеличение удельной тяги потребуется расплачиваться существенным увеличением веса энергосиловой установки и ее усложнением.

Другой возможный путь увеличения удельной тяги — скорости частиц — заключается в использовании мощности ускорителей для разгона все меньшего количества частиц-ионов, т.е. за счет все большего уменьшения абсолютной тяги. Эта тенденция ясно видна в развитии мощных земных ускорителей, в которых общая сила тока, образованного пучком разогнанных частиц (каждой из них удастся сообщить все большую энергию), как это ни парадоксально, уменьшилась в установках 1958 г., по сравнению с установками 1940 г., в миллион раз.

С приближением скорости ионов к скорости света все интенсивнее будет возрастать их масса, а значит и мощность ускорителей, необходимых для разгона. Это практически и ограничивает удельную тягу ионных двигателей. Высказываются соображения, согласно которым удельные тяги, достижимые при приемлемых весах установок и привычных нам преобразователях тепла в электрическую энергию, могут составить до 20 тыс. кг/(кг·сек). Однако скорости истечения не всегда должны быть самыми большими. Для выполнения каждой задачи, в зависимости от схемы и назначения космического корабля, может быть найдена наиболее выгодная скорость истечения.

Целью данной работы является получение подъемной силы без использования двигателя и топлива.

Современные летательные аппараты, во время полета, расходуют большое количество углеродсодержащего топлива, которого на нашей Земле ограниченное количество. Своими выбросами данный вид топлива загрязняет окружающую среду и отравляют население. Разработка экологически чистых двигателей очень актуальна и востребована в современном мире. Существуют направления исследований, в которых для перемещения тел в пространстве используются электрические явления.

Основная задача – ознакомиться с понятием ионного ветра, опытным путем получить ионный ветер, тем самым показать возможность существования подъемной силы, созданной потоком частиц, рассчитать параметры установки, необходимые для получения подъемной силы, подготовить действующую модель ионолёта (Рисунок 1).

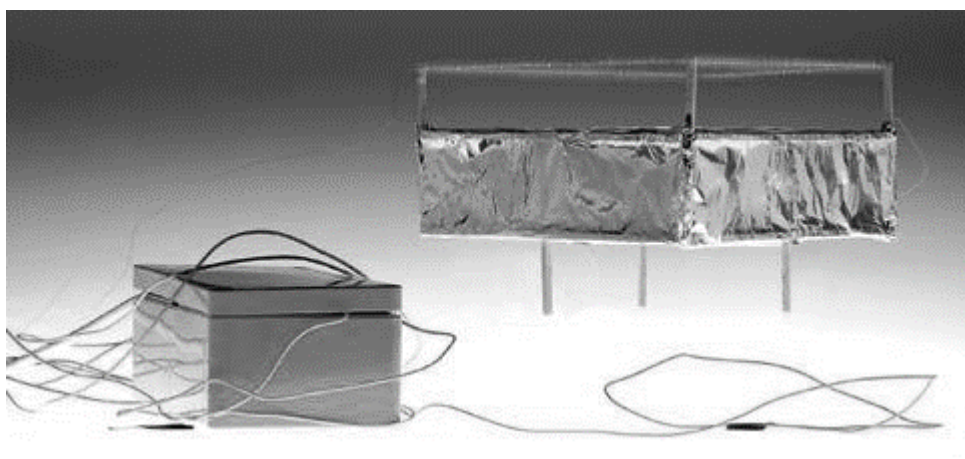


Рисунок 1 – Действующая модель ионолёта

Гипотеза работы – подъем тела в воздух и преодоление силы притяжения возможно с помощью потока заряженных частиц.

Выводы проекта:

1. В современном мире исследования возможности полета на альтернативных источниках энергии актуальны.

2. Учёные уже предложили использовать ионный ветер для охлаждения микроэлектроники вместо вентиляторов, уменьшая массу приборов и полностью избавляя их от шума.

3. Поставленные цели и задачи были выполнены: изучено и экспериментально получено явление ионного ветра. Для экспериментального исследования эффекта Бифельда-Брауна были сконструированы действующие модели. Рассчитаны условия, необходимые для получения подъемной силы.

4. Особенности подготовки ионолёта к работе: выяснили, что для отрыва от поверхности, необходимо иметь диэлектрическую поверхность, чтобы уменьшить электризацию между ионолётом и поверхностью; для увеличения подъемной силы края фольги не должны заламываться, мяться; трение между поверхностью (стола) и опорой ионолёта должно быть минимально; контакты между фольгой и медным проводом следует спаивать, а не скручивать.

5. Экспериментальным путём подтверждена гипотеза: подъём тела в воздух и преодоление силы притяжения возможен с помощью ионного ветра.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. Пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. – 4-е изд., стереот. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 656 с.

2. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. Научное издание. 3-е изд. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009. – 736 с.

УДК 621.313

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Саков С.А., Подвойская А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

История создания электромобиля

Первый электродвигатель был изобретен раньше двигателя внутреннего сгорания. И даже после появления топливных установок, они оставались конкурентоспособными. В конце 19 века механические повозки, агрегированные электрическими двигателями практически ничем внешне не отличались от обычных бензиновых автомобилей. Электромобили уже тогда могли развивать скорость равную 100 км/ч, а в 1902 году Уолтер Бейкер, рискуя своей жизнью, разогнал свой экспериментальный электрокар до 130 км/ч. Компания Baker Electric, созданная этим смелым гонщиком, являлась одной из самых крупных среди производителей электрического транспорта. Однако Detroit Electric выпустили первый серийный электромобиль раньше.



Рисунок 1 Первый серийный электромобиль компании Detroit Electric

К 1910 году только в Америке существовало около 10 серьезных фирм, которые могли предложить покупателю вполне доступный электрический автомобиль. Плюс ко всему, сотни независимых инженеров выпускали каждый по несколько экземпляров в год. Таксопарк Нью-Йорка в то время использовал несколько десятков тысяч такси, которые комплектовались электромагнитными двигателями.

Гибридный двигатель

Гибридный автомобиль — автомобиль, использующий для привода ведущих колёс более одного источника энергии. ДВС и электродвигатель работают в тандеме. Электродвигатель включается при разгоне и остановке для рационального использования топлива, поскольку ДВС не хватает мощности для быстрого набора оборотов вращения карданного вала. Питается электродвигатель от батарей, которые заряжаются во время работы ДВС.

Современные автопроизводители часто прибегают к совместному использованию двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и электродвигателя, что позволяет избежать работы ДВС в режиме малых нагрузок, а также реализовывать рекуперацию кинетической энергии, повышая топливную эффективность силовой установки.

Последовательная: по сути является модификацией электромеханической трансмиссии с добавлением промежуточного накопителя. Двигатель внутреннего сгорания механически соединён только с электрогенератором, а тяговый электродвигатель — только с колёсами. Пример: Chevrolet Volt;

Параллельная: и двигатель внутреннего сгорания, и электродвигатель механически соединены с колёсами посредством дифференциала, который обеспечивает возможность как

их работы по отдельности, так и совместно. Эта схема используется в автомобилях с Integrated Motor Assist (Honda). Характеризуется простотой (возможно применение вместе с механической коробкой передач) и низкой стоимостью;



Рисунок 2 Гибридный двигатель параллельного соединения (разрез).

Последовательно-параллельная: двигатель внутреннего сгорания, генератор и электродвигатель механически связаны друг с другом и с колёсами посредством планетарного редуктора, что позволяет произвольно изменять потоки мощности между этими узлами. Схема реализована в автомобилях с Hybrid Synergy Drive (Toyota), например, Toyota Prius.

Достоинства электромобилей

Электромобили гораздо эффективнее тех, что ездят на бензине. В среднем электрокар преобразует в механическую около 60% электрической энергии. В то же время машина на бензине использует топливо с эффективностью в 17-20%;

Такие транспортные средства просто идеальны с точки зрения экологии. Загрязнение, обусловленное электромобилями, составляет лишь часть загрязнения, вызываемого автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (при одинаковом пробеге), даже с учетом загрязнения, которое связано с использованием энергии электростанций и производства аккумуляторов;

Использование электромобилей может помочь индустриально развитым странам уменьшить зависимость от иностранной нефти;

Стоимость энергии, необходимой для поездки на электромобиле, меньше, чем стоимость энергии, потребляемой при поездке на автомобиле, работающем на ископаемом топливе, на то же расстояние;

В некоторых районах для тех, кто использует электромобили, отменяются или уменьшаются налоги;

При определенной доработке электромобили могут частично или полностью подзаряжаться не от сети, а от других источников;

Сервис электромобилей намного проще, т.к. отсутствует огромное количество запчастей и дополнительных устройств для работы системы в целом;

Бесшумность двигателя;

Что ни говорите, а мода для многих тоже является одним из факторов, так вот, данный вид транспорта привлекает всё большую публику.

Отрицательные качества электромобилей

Существует и множество отрицательных моментов, связанных с использованием таких машин.

До сих пор они не позволяют совершать длительные поездки на несколько сотен километров и предназначены в основном для передвижения в пределах одного города;

Время полного заряда современного электромобиля может составлять в лучшем случае час, но обычно заряжать транспортное средство приходится по нескольку часов. Даже для быстрой и неполной подзарядки требуется как минимум 30 минут;

Электромобили просто-напросто очень дорого стоят. Цены на модель эконом-класса начинаются от 20 или 30 тысяч долларов. Tesla Model S обойдётся покупателю уже в 100 тысяч;

При отрицательных температурах аккумулятор может частично разрядиться или не выдавать достаточный ток;

Электромобиль может оказаться недостаточно мощным и надежным, если потребуется пользоваться им в суровых климатических условиях, особенно в заснеженных районах.

Конструкция электромобилей не предусматривает их использования в трудных условиях, таких как перевозка грузов или уборка снега;

Безопасность электромобилей понижена из-за того, что они имеют облегченную конструкцию и небольшие размеры;

В некоторых местностях получение сервисного обслуживания электромобилей может быть затруднено из-за отсутствия запчастей и квалифицированного персонала;

Для экономии заряда батареи рекомендуется разгонять электромобиль только до 80-100 км/ч;

Электромобили на данный момент не так распространены, выбор моделей невелик;

Не самые комфортные автомобили, т.к. кондиционер быстро разрядит батарею.

Принцип работы электромобиля

Итак, что же лежит в основе устройства электромобиля? Общая система электрического автомобиля представлена несколькими основополагающими блоками:

В первую очередь, это электродвигатель постоянного тока, источник электропитания в виде аккумуляторной батареи, контроллер (система управления работой двигателя), дополнительные устройства, обеспечивающие защиту, контроль, индикацию и прочие немаловажные функции;

Электродвигатель — главная тяговая часть, приводящая автомобиль в движение. Он должен быть постоянного тока, так как при таком типе легче осуществляется управление скоростью движения "движка". Первым показателем при выборе электродвигателя является его номинальная мощность. Именно от неё зависит оптимальность, надёжность, качественность, экономность функционирования электрического автомобиля. Для легковых автомашин мощность электродвигателя должна быть в пределах 5-10 кВт (в зависимости от массы и тяговой возможности машины);

Также следует брать во внимание и следующий момент, это номинальная величина рабочего напряжения и силы тока электрического двигателя. Можно выбрать "движок" с напряжением питания 100 вольт и током потребления 60 ампер, что даст мощность 6000 Вт. А можно выбрать напряжение 48 вольт и ток 125 ампер, что также даст 6000 Вт. Первый вариант более предпочтительней, так как в нём меньший ток, а значит и проще система управления;

Устройство автомобиля подразумевает оптимальное количество элементов электропитания, а именно аккумуляторов. Излишнее количество питающих элементов не только негативно сказывается на лишнем весе, что критично для работы машины, а ещё и обслуживании аккумуляторов, их размещения внутри автомобиля. Кроме того, учитывайте номинальный ток разряда, который не должен превышать указанный производителем. Длительное пренебрежение этим условием (резкие и длительные чрезмерно большие токи разряда аккумулятора) значительно сокращает срок службы питающих элементов. Да и на саму электрическую цепь электромобиля чрезмерный ток скажется негативно;

Среди перечисленных базовых частей электрического автомобиля в его устройстве немаловажную роль играет контроллер, который выполняет функцию регулятора частоты вращения электродвигателя. Это блок электронной схемы, стоящей между аккумулятором и электрическим двигателем. Его внешнее управление задаётся переменным сопротивлением,

что связано с падением газа. При нажатии на газ происходит изменение параметров резистора, а это учитывается контроллером, который в свою очередь меняет частоту и силу тока, подаваемого на двигатель. Данный контроллер можно собрать, как самому (принципиальных схем в интернете хватает), так и купить уже готовый. Причем покупной вариант будет намного надёжней и функциональней.

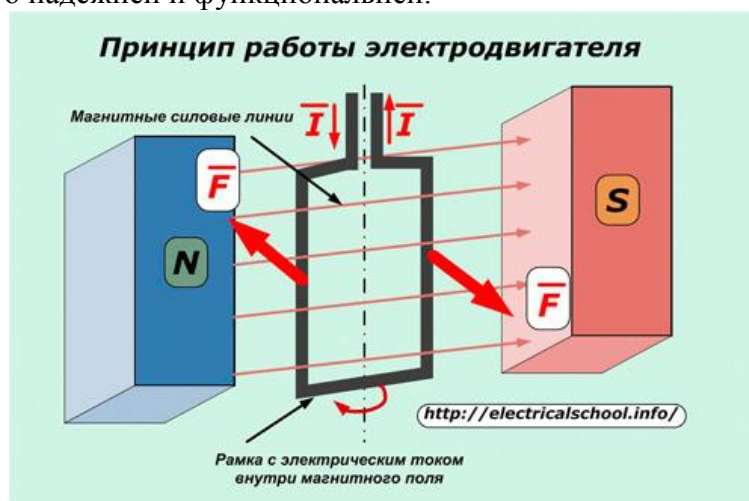


Рисунок 3 Схема работы электродвигателя

Перспективы развития электромобилей

Американские специалисты в области возобновляемой энергетики полагают: дешёвая нефть начнёт отрицательно сказываться на продажах работающих на электричестве машин уже в 2015 году. Постоянно дорожающее топливо подталкивало людей отказываться от бензина и пересаживаться в электромобили. Точно так же недорогая нефть постепенно вновь повысит популярность больших внедорожников. Особенно это будет заметно в США, где крупные, расходующие много бензина машины традиционно популярнее обычных городских моделей.

Но в условиях глобального потепления и тому, какое большое внимание страны уделяют экологическим проблемам, электрические автомобили не останутся без своих владельцев.

Вероятно, будущее действительно за электромобилями. Но сможет ли индустрия стабильно развиваться до тех пор, пока это будущее не наступит, всё ещё большой вопрос. На то, чтобы привычные сегодня машины на бензине появились в каждом городе и деревне, ушли десятилетия.

Литература

- <http://yvek.ru/интересное/автомобиль-тесла-характеристики/> - Дата доступа: 10.04.2016.
- https://ru.wikipedia.org/wiki/Гибридный_автомобиль - Дата доступа: 09.04.2016.
- <http://znanieavto.ru/dvs/gibridnyj-dvigatel/> - Дата доступа: 10.04.2016.
- <http://greenbelarus.info/articles/05-02-2015/elektromobili-plyusy-minusy-perspektivy> - Дата доступа: 11.04.2016.
- <http://mashintop.ru/articles.php?id=1074> - Дата доступа: 08.04.2016.
- https://ru.wikipedia.org/wiki/Электродвигатель_постоянного_тока - Дата доступа: 10.04.2016.
- <http://ecoconceptcars.ru/2010/11/blog-post-istoriya.html> - Дата доступа: 11.04.2016.

УДК 621.791.035

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

Пукало М. И., Саява Н. А

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Плазмой называется частично или полностью ионизированный газ, состоящий из нейтральных атомов и молекул, а также электрически заряженных ионов и электронов. В таком определении обычная дуга может быть названа плазмой. Однако по отношению к обычной дуге термин «плазма» практически не применяют, так как обычная дуга имеет относительно невысокую температуру и обладает невысоким запасом энергии по сравнению с традиционным понятием плазмы.

При обычной дуговой сварке дуга горит свободно между электродом и изделием. Однако если при помощи каких-либо приемов не дать возможность дуге занять ее естественный объем, принудительно сжать ее, то температура дуги (плазменной струи) значительно повысится. В плазмотронах сжатие дуги чаще всего осуществляется газовым потоком, который, проходя сквозь узкое сопло, ограничивает поперечные размеры дуги. Газ, подаваемый внутрь плазмотрона, выходит сквозь узкое отверстие в сопле, оттесняя дугу от стенок. Для устойчивой работы плазмотрона стенки сопла охлаждаются водой и при работе остаются холодными. Пристеночный охлажденный слой газа изолирует плазму от сопла, как в электрическом, так и в тепловом отношении. Поэтому дуговой разряд между электродом внутри горелки и изделием стабилизируется и проходит сквозь центральную часть отверстия в сопле. Такой способ сварки сжатой дугой и называют плазменной

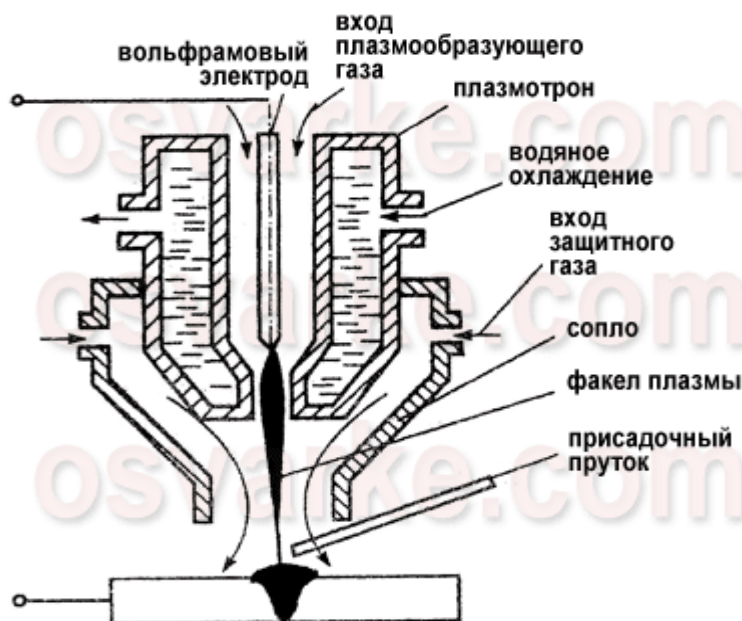


Рисунок 1. Схема процесса плазменной сварки

В итоге получаем два процесса: сжатие дуги и принудительное вдувание в нее плазмобразующего газа. Схема получения плазменной дуги приведена на рисунке выше. Сжатие дуги осуществляется за счет размещения ее в специальном устройстве – плазмотроне, стенки которого, как мы уже знаем, интенсивно охлаждаются водой. В результате сжатия уменьшается поперечное сечение дуги и возрастает ее мощность – количество энергии, приходящееся на единицу площади. Температура в столбе обычной дуги, горящей в среде аргона, и паров железа составляет 5000–7000°C. Температура в плазменной дуге достигает 30 000°C.

Одновременно со сжатием в зону плазменной дуги вдувается плазмообразующий газ, который нагревается дугой, ионизируется и в результате теплового расширения увеличивается в объеме в 50–100 раз. Это заставляет газ истекать из канала сопла плазмотрона с высокой скоростью. Кинетическая энергия движущихся ионизированных частиц плазмообразующего газа дополняет тепловую энергию, выделяющуюся в дуге в результате происходящих электрических процессов. Поэтому плазменная дуга является более мощным источником энергии, чем обычная.

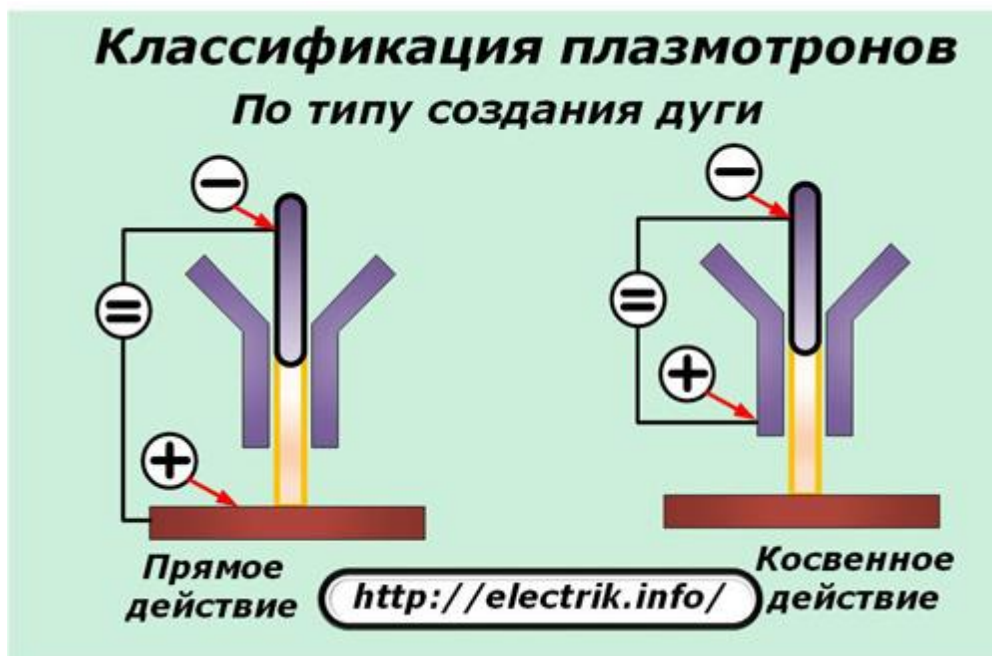


Рисунок 2. Классификация плазмотронов по типу создания дуги

По принципу работы плазмотрон бывает прямого или косвенного действия. В первом случае разность потенциалов внешнего поля генератора, создающего условия для образования дуги, прикладывается прямо к обрабатываемой детали и электроду газовой горелки. За счет этого повышается эффективность охлаждения конструкции. При втором методе электрическое напряжение прикладывается только между частями горелки для создания струи плазмы. За счет этого требуется усложнять систему охлаждения соплового узла.

У плазматронов прямого действия вырабатывается дуга, приблизительно напоминающая цилиндрическую форму, немного расширяющуюся у поверхности обрабатываемого металла. Внутри нейтрального электрического сопла происходит сжатие и стабилизация дуги. При этом сочетание тепловой и кинетической энергии плазмы формирует для нее повышенную мощность, позволяющую глубже проплавливать металл.

Горелки косвенного действия создают плазму в форме конической струи, окруженной факелом, направленным к изделию. Струю выдувает поток плазмы, исходящий из горелки.

Для запуска плазматрона может использоваться переменный или постоянный ток. В качестве примера рассмотрим работу генератора от обычной сети электроснабжения 220 вольт.

На мощность создаваемой дуги влияет сила применяемого тока. По ее величине определяют три вида сварки:

- микроплазменная;
- средняя;
- на больших токах.

Микроплазменная сварка

Она работает на токах, ограниченных величинами 0,1÷25 ампер. Эта технология используется в радиоэлектронике, приборостроении, ювелирном деле, изготовлении сильфонов, мембран, термодар, фольги, тонкостенных труб и емкостей, позволяя прочно соединять детали толщиной 0,2÷5 мм.

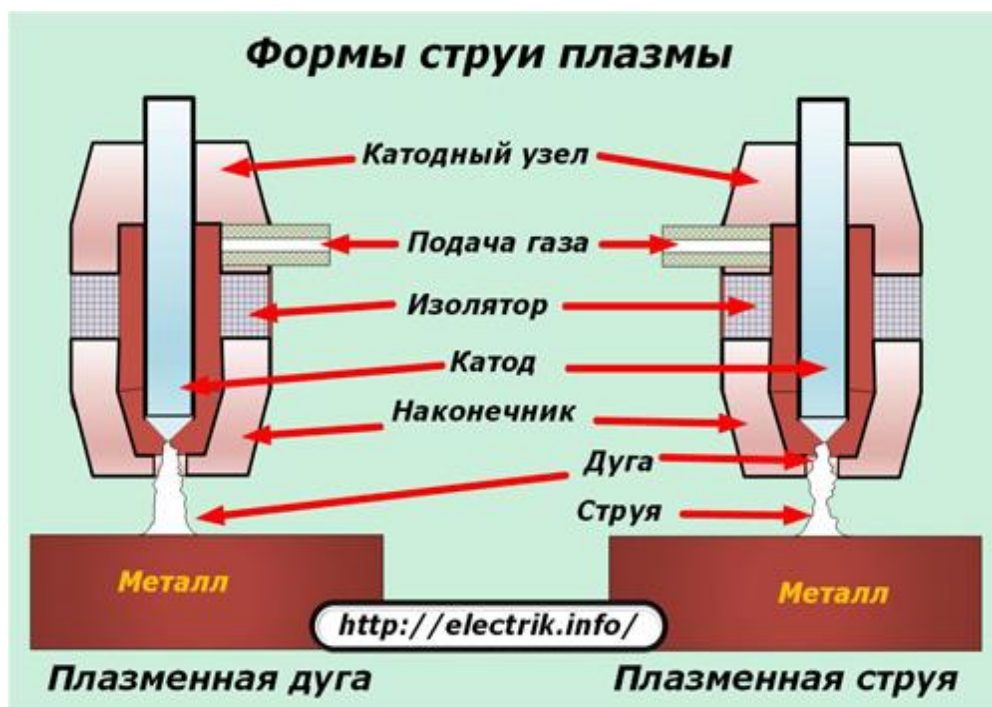


Рисунок 3. Классификация по форме струи

Для обработки разных материалов подбираются сочетания плазмообразующих и защитных газов, степень сжатия дуги, приближение к аноду. При обработке особенно тонких материалов используется режим импульсной работы при малоамперном питании дуги с подачей разнополярных импульсов тока.

Во время прохождения импульса одной полярности происходит наплавка или сварка металла, а при паузе за счет смены направления идет остывание и кристаллизация металла, создается сварная точка. Для ее хорошего образования оптимизируется процесс подачи тока и паузы. В сочетании с регулировкой амплитуды и удалением электрода это позволяет достичь высокого качества соединения различных металлов и сплавов.

Для выполнения микроплазменной сварки разработано много технологий, учитывающих разные углы наклона плазмотронов, создания поперечных колебаний для разрушения оксидных слоев, перемещение сопла относительно обрабатываемого шва и другие способы.

Сварка плазмой при средних токах 50÷150 ампер используется в промышленном производстве, машиностроении и ремонтных целях.

Высокие токи от 150 ампер используются для плазменных сварок, осуществляющих в промышленных условиях обработку легированных и низкоуглеродистых сталей, сплавов меди, титана, алюминия. Она позволяет снизить затраты на разделку кромок, повысить производительность процесса, оптимизировать качество швов по сравнению с электродуговыми способами соединений.

Преимущества плазменной сварки - очаг дуги, создаваемый при плазменной сварке, отличается от обычной электрической:

- большим тепловым воздействием, благодаря приближению к цилиндрической форме;
- повышенным механическим давлением струи на металл (примерно в 6÷10 раз);
- меньшей контактной площадкой на обрабатываемом металле;
- способностью поддержания горения дуги на низких токах, вплоть до 0,2 ампера.

По этим четырем причинам плазменная сварка считается более перспективной и многоцелевой при обработке металлов. Она обеспечивает лучшее расплавление внутри уменьшенного объема. Дуга плазмы обладает наиболее высокой концентрацией температуры и позволяет резать и сваривать металлы повышенной толщины даже при определенных увеличениях расстояния от сопла горелки до обрабатываемого изделия.

Кроме того, устройства плазменной сварки отличаются:

- относительно небольшими габаритами;
- надежностью в работе;
- простотой регулирования мощности;
- легким запуском;
- быстрым прекращением рабочего режима.

Недостатки: высокая стоимость оборудования ограничивает широкое внедрение плазменной сварки во все отрасли производства и среди маленьких предприятий.

Литература

1. Интернет ресурс <http://elektrik.info/device/1038-kak-ustroen-i-rabotaet-plazmennyy-svarochnyy-apparat.html>
2. Интернет ресурс <http://www.osvarke.com/plasma.html>
3. Малышев Б.Д. Ручная дуговая сваркаМ: Стройиздат, 1990г. — 320 с.

УДК621.38

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Быков К.Ю.

Научный руководитель - старший преподаватель Германович Е.И.

Углеродные нанотрубки – своеобразные цилиндрические молекулы диаметром примерно от половины нанометра и длиной до нескольких микрометров. На основе углеродных нанотрубок создаются электронные устройства нанометрового (молекулярного) размера.

Классификация углеродных нанотрубок

Идеальная нанотрубка представляет собой свёрнутую в цилиндр графитовую плоскость, то есть поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Углеродные нанотрубки характеризуются большим разнообразием форм. К примеру, они могут быть одностенными или многостенными (однослойными или многослойными), прямыми или спиральными, длинными и короткими, и т. д. Что важно, нанотрубки оказались необыкновенно прочными на растяжение и на изгиб. Под действием больших механических напряжений нанотрубки не рвутся, не ломаются, а просто перестраивается их структура.

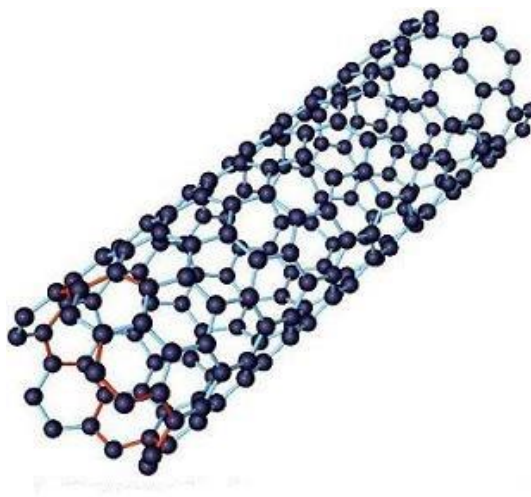


Рисунок 1 – Модель углеродной одностенной нанотрубки

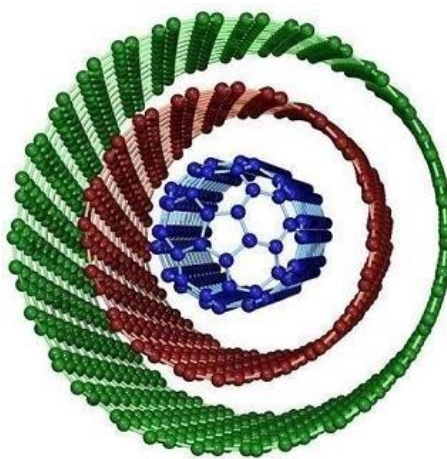


Рисунок 2 – Модель многостенной углеродной нанотрубки

Свойства углеродных нанотрубок

Нанотрубки демонстрируют множество неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств, которые уже стали объектами ряда исследований. Особенностью углеродных нанотрубок является их электропроводность, которая оказалась выше, чем у всех известных проводников. Они также имеют прекрасную теплопроводность, стабильны химически и, что самое интересное, могут приобретать полупроводниковые свойства. По электронным свойствам углеродные нанотрубки могут вести себя как металлы, либо как полупроводники, что определяется ориентацией углеродных многоугольников относительно оси трубки. Металлическим типом зонной структуры обладают треть нанотрубок. Остальные нанотрубки должны быть полупроводниками с шириной запрещенной зоны от нескольких десятых до примерно 2 эВ, возрастающей при уменьшении диаметра нанотрубки.

Цилиндрические неизогнутые нанотрубки образуются из повторяющихся углеродных шестиугольников. Если углеродный шестиугольник заменить, например, на пятиугольник, семиугольник или на два таких дефекта, как показано на Рисунок3, нанотрубка изогнется. С разных сторон относительно изгиба ориентация углеродных шестиугольников оказывается различной. Но при изменении ориентации шестиугольников по отношению к оси нанотрубки меняется ее электронный спектр, положение уровня Ферми, ширина оптической щели и т. п. В частности, для приведенного на Рисунок4 случая, слева относительно изгиба нанотрубка должна быть металлической, а справа – полупроводниковой. Таким образом, эта изогнутая нанотрубка должна представлять собой молекулярный гетеропереход «металл – полупроводник».

Если рассматривать данные куски нанотрубки изолированно, с разных сторон относительно изгиба, видим, что электроны на уровне Ферми обладают разной энергией. В единой системе выигрыш в энергии приводит к перетеканию заряда и образованию потенциального барьера.

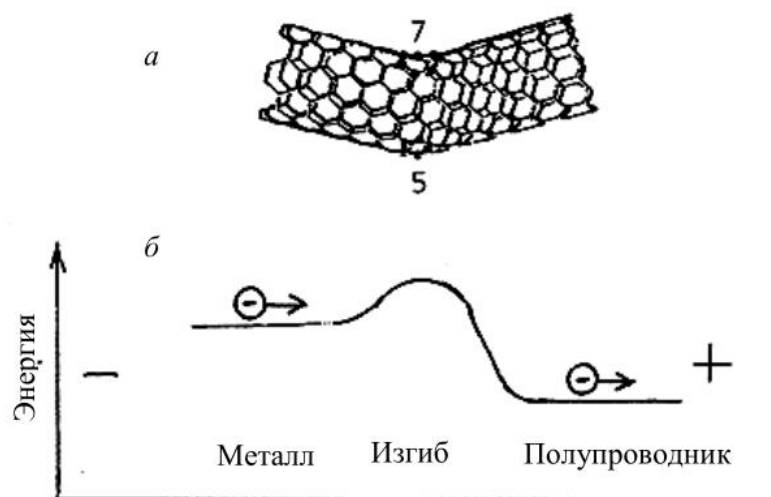


Рисунок 3. Влияние дефекта семиугольник-пятиугольник на геометрию нанотрубки (а) и энергию подвижных электронов (б)

Электрический ток в таком переходе течет только в том случае, если электроны перемещаются из области нанотрубки с большей энергией Ферми в область с меньшей. Иначе говоря, ток может течь только в одном направлении. «Одностороннее» прохождение тока через нанотрубку с изгибом используется для создания выпрямляющего диода – одного из основных элементов электронных схем (Рисунок 4).

Нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводами; вольтамперная характеристика для такой системы показана на Рисунок4, б.

На основе полупроводниковой или металлической нанотрубки удалось сделать полевые транзисторы, работающие при комнатной или сверхнизкой температуре.

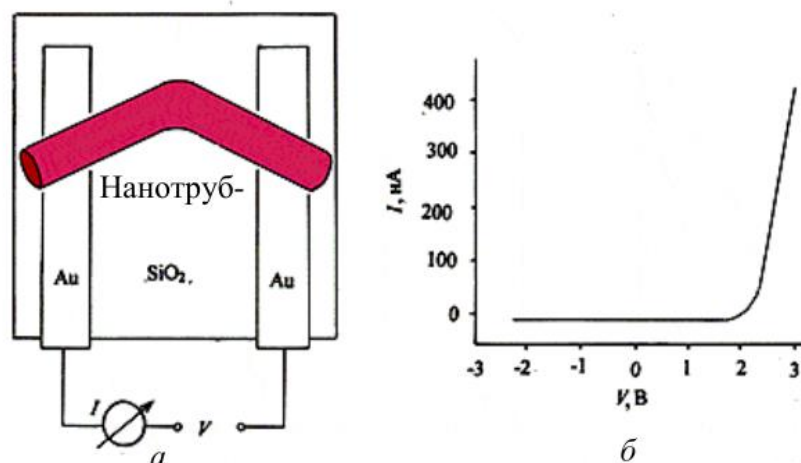


Рисунок 4. Выпрямляющий диод на изогнутой нанотрубке

Полевые транзисторы (триоды) – электронные устройства, на перенос заряда через которые оказывает сильное влияние внешнее (управляющее) электрическое поле, что используется в усилителях электрического сигнала, переключателях и т. п. (Рисунок 5). Нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводами; в качестве третьего электрода (затвора) используется кремниевый слой (Рисунок 5, а); зависимость проводимости в цепи от потенциала затвора (Рисунок 5, б).

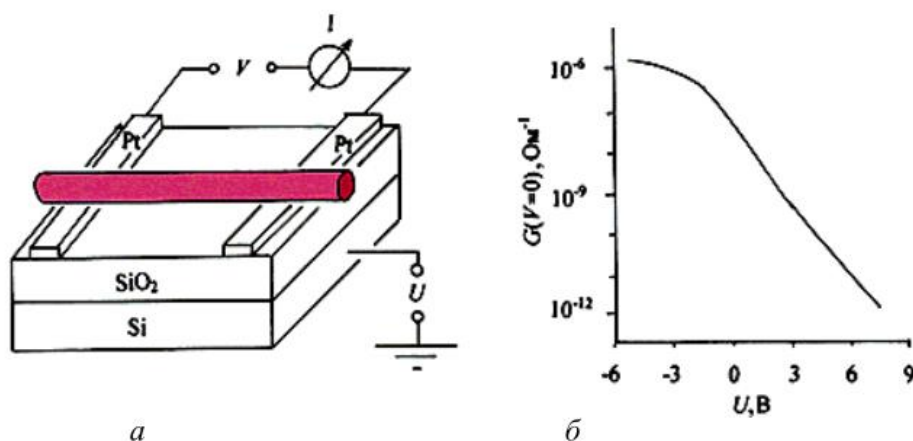


Рисунок 5. Полевой транзистор на полупроводниковой нанотрубке

В транзисторе на полупроводниковой нанотрубке электрическое поле управляет концентрацией носителей в зонах делокализованных состояний. В полупроводниковой нанотрубке состояния валентной зоны отделены от состояний зоны проводимости энергетической щелью – запрещенной зоной. Из-за наличия этой щели при обычных условиях концентрация носителей в зонах мала, и нанотрубка обладает высоким сопротивлением. При подаче на третий электрод (затвор) электрического потенциала U в области нанотрубки возникает электрическое поле, и изгиб энергетических зон изменяется. При этом концентрация дырок в валентной зоне (и соответственно электропроводность) возрастает по экспоненциальному закону со смещением края зоны относительно уровня Ферми. При потенциале затвора около минус 6 В концентрация дырок достигает максимального значения, сопротивление – минимального, а нанотрубка становится металлической.

Перспективы использования углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки могут быть полезны также и для создания дисплеев нового поколения. Рассмотрим углеродную нанотрубку, закрепленную на катоде и ориентированную в направлении анода (Рисунок 6). Если на электроды подать напряжение соответствующей полярности, нанотрубка заряжается отрицательно, линии электрического поля вблизи заряженной нанотрубки искривляются и в окрестности острия нанотрубки напряженность поля становится огромной, причем тем больше, чем тоньше нанотрубка. Такое локальное поле может вырывать электроны из нанотрубки. Под действием внешнего поля летящие электроны формируются в пучок. Этот эффект, называемый автоэлектронной эмиссией, используется для создания выпрямителей в дисплеях для формирования изображения и др. В обоих случаях берут два плоских электрода, один из которых покрывают слоем из углеродных нанотрубок, ориентированных перпендикулярно ко второму. Если на электроды подается такое напряжение, что нанотрубка заряжается отрицательно, из нанотрубки на второй электрод излучается пучок электронов: ток в системе идет. При другой полярности нанотрубка заряжается положительно, электронная эмиссия из нее невозможна и ток в системе не идет.

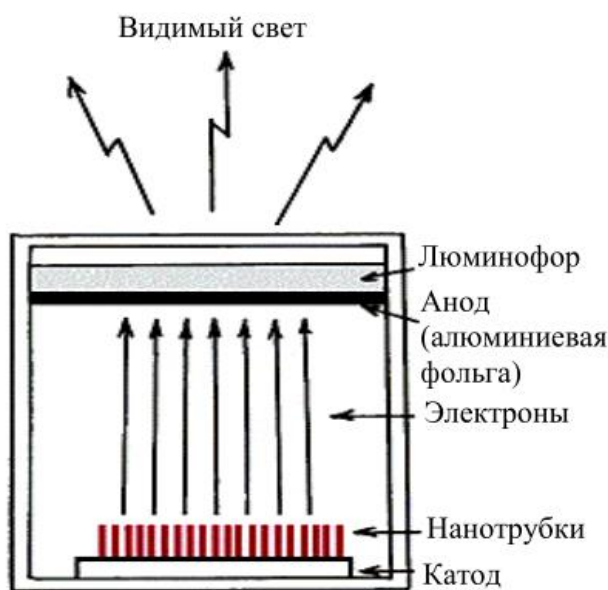


Рисунок 6. Схема дисплея, в котором используется автоэлектронная эмиссия нанотрубок

Чтобы с помощью автоэлектронной эмиссии получить изображение, на аноде закрепляют люминофор. Электронный удар возбуждает молекулы люминофора, которые затем переходят в основное состояние, излучая фотоны. Например, при использовании в качестве люминофора сульфида цинка с добавками меди и алюминия наблюдается зеленое свечение, а при добавлении серебра – синее. Красный цвет получают с помощью легированного европием оксида иттрия.

Возможности использования нанотрубок в молекулярной электронике неизмеримо возрастают при переходе от чисто углеродных к химически модифицированным нанотрубкам. Например, наличие цилиндрической полости внутри углеродных нанотрубок позволяет внедрить различные элементы, включая тяжелые металлы. Возможно добавление примесей (например, атомов фтора) на внешнюю поверхность трубки. Кроме углеродных, сейчас умеют получать и бор-азотные нанотрубки. Во всех этих случаях должны получаться материалы с новыми и пока еще экспериментально не изученными свойствами.

Литература

1. Шелованова, Г.Н. Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники: курс лекций / Г.Н.Шелованова; ИПК СФУ. – Красноярск, 2009. – 220 с.
2. Интернет ресурсы: <http://www.ixbt.com/editorial/carbon.shtml>

УДК 621.313

ВИДЫ ДИСПЛЕЕВ

Дубовская С.О., Татаревич М.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

LCD технологии и принцип работы

Принцип работы LCD технологии (LiquidCrystalDisplay - жидкокристаллический дисплей) основан на использовании вещества, которое находится в жидком состоянии, но при этом обладает некоторыми свойствами, присущими кристаллическим телам. Эти аморфные вещества схожи с кристаллическими веществами по электрооптическим свойствам, а также способны принимать форму сосуда под воздействием тока. За схожесть их назвали жидкими кристаллами. Молекулы жидких кристаллов под воздействием электричества могут изменять свою ориентацию, и вследствие этого, изменять свойства светового луча, проходящего сквозь них.

Экран LCD-монитора представляет собой массив сегментов (пикселей), которыми можно манипулировать для отображения информации. Дисплей имеет несколько слоев, где ключевую роль играют две панели, сделанные из свободного от натрия и очень чистого стеклянного материала, называемого субстрат или подложка. Между панелями находится тонкий слой жидких кристаллов. На панелях имеются бороздки, которые направляют кристаллы, придавая им нужную ориентацию. Соприкасаясь с бороздками, молекулы жидких кристаллов принимают одинаковую ориентацию. Стеклянные панели расположены очень близко друг к другу. Они освещаются источником света (в зависимости от того, где он расположен, LCD-дисплеи работают на отражение или на прохождение света). При прохождении панели плоскость поляризации светового луча поворачивается на 90° . Появление электрического тока заставляет молекулы жидких кристаллов выстраиваться вдоль электрического поля, а угол поворота плоскости поляризации света становится отличным от 90° . Расположив большое число электродов, создающих электрические поля в локальных местах дисплея (ячейки), получим возможность (при правильном управлении потенциалами этих электродов) отображать на экране буквы и другие элементы изображения. Технологические новшества позволили ограничить размеры электродов до точки, соответственно, на одной и той же площади панели стало возможным расположить большее число электродов, что увеличивало разрешение LCD-монитора и позволяло отображать сложные изображения в цвете.

Для формирования цветного изображения LCD-дисплей подсвечивали сзади. Цвет получался в результате использования трех фильтров, которые выделяли из белого света три основные компоненты. Комбинируя эти компоненты для каждой точки (пикселя) дисплея, появилась возможность воспроизвести любой цвет.

Обычный LCD-монитор состоит из следующих основных частей:

- активной матрицы, представляющей собой набор транзисторов, с помощью которых и формируется изображение;
- слоя жидких кристаллов со светофильтрами, которые либо пропускают свет, либо нет;
- системы подсветки, которую на сегодняшний день стараются полностью перевести на светодиоды.

Основные технологии LCD-дисплея:

1. TN+film- TN технология с успехом применялась при производстве калькуляторов и первых электронных часов (то есть там, где требовалось вывести только несколько символов), но в связи с инженерными ограничениями оказалась непригодной в производстве экранов для компьютеров. Для формирования более четкой картинки компания Samsung разработала и реализовала функцию усовершенствованного масштабирования изображения (IEF – Image Enhancement Function).

2. IPS- Технология IPS (In-PlaneSwitching), или SFT (SuperFineTFT) была разработана компаниями Hitachi и NEC в 1995 году. Технология IPS предназначалась для избавления от недостатков TN + film. С помощью IPS и удалось добиться увеличения угла обзора до 178°, высокой контрастности и глубины цвета, но не смотря на эти положительные моменты время отклика осталось на низком уровне.

Мало кто догадывается, что в iPhone 5 используется экран RetinaDisplay от компании Sharp, со сверхвысоким разрешением и применением технологии IPS. В отличие от технологии Super AMOLED, RetinaDisplay, которая используется в таких устройствах как iPhone 5, iPad 3, iPodtouch 5G и MacBookPro, поразила мир своим высоким разрешением – 326 ppi на дюйм. При таком высоком разрешении человеческий глаз воспринимает картинку как единое целое, различить отдельные пиксели невооруженным глазом просто не представляется возможным. Больших разрешений, которые пытается уместить в своих устройствах компания Samsung или Nokia и не нужно. Высокое разрешение в совокупности с технологией IPS делают дисплеи Retina одними из самых ярких и четких экранов. Конечно, такое увеличение яркости и плотности пикселей негативно сказалось на энергопотреблении. Но этот недостаток нивелируется литий - полимерным аккумулятором ёмкостью 1750 мАч.

3. VA/MVA/PVA - тип LCD матриц, которые были созданы как альтернатива TN и IPS матрицам, представляя из себя что-то среднее по доступной цене. Обладает скоростными характеристиками, схожими с TN, и углами обзора, схожими с IPS углами обзора. Имеют и свой собственный плюс - высокая контрастность, которая до 3-х раз выше, чем у IPS и TN матриц (3000:1). Высокая контрастность достигается благодаря сдвоенным пикселям, которые могут использовать больше вариантов положений кристаллов.

4. PLS-матрица (plane-to-lineswitching) была разработана компанией Samsung как альтернатива IPS и впервые продемонстрирована в декабре 2010 года. Предполагается, что эта матрица будет на 15 % дешевле, чем IPS.

Компания Samsung не давала описания технологии PLS. Сделанные независимыми наблюдателями сравнительные исследования матриц IPS и PLS под микроскопом не выявили отличий. То, что PLS является разновидностью IPS, косвенно признала сама корпорация Samsung своим иском против корпорации LG: в иске утверждалось, что используемая LG технология AH-IPS является модификацией технологии PLS.

OLED дисплеи

В 2003 году на рынке появился серьезный конкурент в виде технологии OLED (OrganicLight-EmittingDiode), базирующейся на совершенно иных принципах работы. В их основе лежит органический полимер, излучающий свет под воздействием электрического поля. При этом он обладает большим запасом яркости по сравнению с LCD при меньшем энергопотреблении, меньшем времени отклика, лучшей цветопередачей и практически отсутствующих так называемых «углах обзора» — качество изображения не меняется в зависимости от угла зрения на протяжении всех 180 градусов. Правда и технология производства таких экранов была весьма недешева. В 2009 году технология OLED была заметно улучшена, и новый тип дисплеев назвали AMOLED (Active-MatrixOLED). Здесь в матрицу был добавлен слой тонкопленочных транзисторов, что позволяло увеличить диагональ экранов, еще сократить энергопотребление и улучшить цветопередачу. Существует и технология SuperAMOLED. Отличается она от простого AMOLED отсутствием воздушной прослойки между слоями, что характеризует новый экран увеличенной яркостью, отсутствием боязни солнечного света и еще меньшей толщиной при большей диагонали.

Плазменные дисплеи (газоразрядные экраны)

Газоразрядный экран (также широко применяется английская калька «плазменная панель») — дисплей, использующий в своей работе явления электрического разряда в газе и возбуждаемого им свечения люминофора.

Принцип работы плазменной панели заключается в следующем – внутри многослойной стеклянной конструкции между стеклянными стенками располагаются сотни тысяч ячеек

покрытых флуоресцентным материалом (люминофором) красного, зеленого и синего цветов. Ячейки заполнены инертным газом (неон, аргон, ксенон или их смесь). Снизу и сверху ячеек под углом 90 градусов располагаются токопроводящие электроды. При подаче напряжения на соответствующие электроды в точке их пересечения происходит разряд, в результате которого газ в ячейке ионизируется и превращается в плазму. Появившиеся в плазме свободные электроны, попадая на люминофор, вызывают свечение поверхности соответствующей цветной ячейки. Подачей напряжения на необходимые электроды руководят специальные процессоры.

E-ink экраны

В переводе с английского E-Ink - электронные чернила или электронная бумага. Экраны на основе этой технологии называют бумагоподобными. Эта технология создавалась специально для имитации обычной печати на бумажном листе. В основе технологии - микрокапсулы заполненные черными и белыми микрогранулами. При приложении электрического поля к такой капсуле на ее поверхность всплывают черные или белые гранулы (в зависимости от полярности приложенного напряжения), обеспечивая изменение цвета капсулы. Подробнее о принципе работы e-ink.

Основным достоинством таких экранов является отсутствие внутреннего свечения и мерцания. Кроме того, после появления изображения на таком экране электрическое поле снимается, а нужные микрокапсулы так и остаются окрашенными. Иными словами, такой экран потребляет энергию только в момент смены изображения. Экраны E-Ink потребляют очень мало энергии. Электронные книги с экранами типа E-Ink от заряда до заряда батареи работают недели. В инструкциях по эксплуатации к таким книгам указывается не максимальное время работы батареи в часах, а количество перелистывания страниц в тысячах. Обычно этот параметр находится в пределах от 5 000 до 30 000. При среднем размере книги в 700 страниц получаем, что одного заряда батареи хватает на чтение от семи до сорока двух книг. Батарея в электронных книгах с E-ink экранами не такая тяжелая и большая, как в электронных книгах с экранами TFT.

Основные недостатки E-Ink технологии. Первый - это более низкая контрастность, чем у TFT-экранов. Белый цвет у таких экранов несколько сероватый, а черный - недостаточно темный. Второй недостаток - сегодня E-Ink экраны электронных книг пока еще черно-белые. Третий недостаток - обновление экрана происходит гораздо медленнее, чем у TFT. При чтении книг это абсолютно не напрягает, но фильм на таком экране смотреть невозможно. Поэтому в электронных книгах с такими экранами не ищите проигрывателя видео. Его не может быть.

Литература

1. LCD-мониторы [Электронный ресурс] URL: <http://master-tv.com/article/lcd/> (дата обращения: 18.04.2016).
2. Взгляд изнутри: LCD и E-Ink дисплеи [Электронный ресурс] URL: <http://geektimes.ru/post/253948/> (дата обращения: 18.04.2016).
3. OLED — технология производства дисплеев на основе органических диодов.[Электронный ресурс] URL: <http://www.xtechx.ru/c40-visokotehnologichni-spravochnik-hitech-book/oled-tecnology/> (дата обращения: 18.04.2016).

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗАГОРОДНОГО ДОМА

Дергачёва М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Одним из самых актуальных вопросов для владельцев загородных домов, домиков, дач, бань, и прочих строений загородного типа, является вопрос отопления. На сегодняшний день существуют три основных вида: твердотопливное, газовое и электрическое отопление. Попробуем разобраться какое всё-таки лучше.

Многочисленный холодный период является строгим экзаменатором и никому не прощает просчетов в устройстве системы отопления. Защитить себя и свою семью от погодных катаклизмов может грамотно рассчитанное и надежное электрическое отопление, как один из вариантов отопления частного дома. По сравнению с другими видами отопления, в которых применяется газообразное, жидкое или твердое топливо, электроотопление отличается более высокими тарифами, хотя принципы, заложенные в современное отопление, позволяют значительно снизить этот отрицательный фактор.

С другой стороны, считающееся самым дешевым, газовое отопление называют таковым только за счет низкой стоимости газа. В тоже время, газовые отопительные устройства стоят намного дороже, чем электрический котел отопления. Добавьте к этому затраты на подключение природного газа или на устройство газгольдера, а также массу всевозможных согласований и окажется, что нужно выложить очень кругленькую сумму, которая далеко не каждому по карману. При этом стоит суммировать затраты на прокладку дворовых и уличных газопроводов, стоимость которых растет с ужасающей скоростью с каждым метром их длины. В итоге, вложив очень крупную сумму, придется ждать, в лучшем случае, не менее 10 лет для окупаемости газового отопления.

Установка электрического отопления отличается, по сравнению с газовым вариантом, минимальными первоначальными затратами, куда входят покупка электрического котла, приобретение многотарифного электросчетчика, аккумулятора тепла и замена или прокладка усиленного электрического ввода. Согласовывается электроотопление с местным отделением энергосбыта, а выполнить все электромонтажные работы по силам одному опытному электрику.

Итак, современное отопление с применением электричества, должно иметь многотарифный счетчик и аккумулятор тепла, что позволит запастись теплом в ночной минимум по ценам, которые в четыре раза ниже общепринятых. Учитывая стоимость электрического котла, которая намного ниже газовых прототипов, небольшой объем монтажных работ и возможность выполнить их в считанные дни, электрическое отопление имеет оптимистические перспективы. Особенно это важно для загородных застройщиков, до которых газовые магистрали могут быть проложены в необозримом будущем. В таких случаях выполняется электроотопление, которое в перспективе можно будет перевести на газовый источник тепла. К этому стоит добавить экологическую чистоту, внешнюю привлекательность и простоту регулирования в автоматическом режиме, что делает подобный способ отопления полностью автономным.

Рассчитаем три варианта отопления для небольшого загородного дома площадью 90м².

Твердотопливное отопление

Твердотопливные котлы довольно просты и долговечны, они работают практически на любых видах твердого топлива: дрова, уголь, торф, пеллеты, брикеты и т.д. Использование различных брикетов, пеллет или гранул выходит довольно дорого, так как производители поставляют свой товар по завышенным ценам. Уголь, на мой взгляд, имеет некоторую территориальную привязанность, в регионах, где есть шахты он более доступен, хотя и там

цена на него очень поднялась, и соответственно, транспортировка угля в другие регионы увеличивает его стоимость в разы. Потому самым распространенным топливом для твердотопливных котлов являются дрова. Для отопления дома 90 м^2 , при постоянном проживании, потребуется 2-2.5 м^3 дров на месяц. Стоимость одного куб.метра дров (колотых) от 25 долларов. Таким образом, путем нехитрых математических вычислений, мы получаем стоимость отопления дома 90 м^2 в течение одного месяца составляет 50-60 долларов. В среднем отопительный сезон составляет 7 месяцев, то есть необходимо 14-15 м^3 дров.

Рассчитаем примерную стоимость системы отопления на твердом топливе (эконом):

- Котел отопительный твердотопливный: 300 долларов.
- Радиаторы 7шт по 45 долларов: 310 долларов.
- Монтаж системы (включая трубы, фитинги, переходники и т.д.) 750 долларов.

Итого: 1360 долларов.

Газовое отопление

Газовое отопление является одним из самых дешевых источников тепла. Безусловно, это так, если у вас сделана разводка труб, установлен газовый котел и заведен газ на участок. Попробуем рассчитать стоимость установки и владения газовым отоплением с «нуля».

- Радиаторы 7шт. по 45= 310 долларов.
- Газовый котел 600 долларов.
- Монтаж системы (включая трубы, фитинги, переходники и т.д.) 1000 долларов.
- Проект газификации, подключение, согласование от 4500 долларов

Итого получаем 6410 долларов (на практике получается не меньше 7500 долларов.)

Считается, что для отопления 10 м хорошо утепленного дома требуется котел мощностью 1 кВт, при выборе удельной мощности котла необходимо учитывать климатические условия региона:

Для РБ W уд.= 1,2-1,5 кВт;

Для дома площадью 90 м^2 (рисунок) потребуется котел:

W котла = $90 \times 1,2 / 10 = 10,8$ мощностью 10,8 кВт.

В среднем котел будет работать 50% времени - 5,4 кВт/час. Теплотворная способность 1 м^3 газа составляет 9,3 кВт/час Отопительный период длится около семи месяцев.

Коттедж $90,49\text{ м}^2$



Рисунок 1

С 1 января 2016 года тарифы в РБ на газ:
при наличии приборов учета газа от 3000 м^3 до 5500 м^3 (включительно)

В отопительный период	В летний период
1009,19 р.	3694,86 р.

Получаем в среднем за отопительный сезон коттеджа около 200 долларов.

Электрическое отопление

Теперь рассчитаем стоимость установки и владения системой электрического отопления для того же дома площадью 90м². Для электрического отопления данного коттеджа понадобится:

1 этаж

▪ Кухня-столовая 10,76 м² - устанавливается один радиатор ЭЭЕ 1200/6 мощностью 1,2 кВт. Цена 155 \$/шт.

▪ Гостиная 15,44 м² - под каждое окно устанавливаются радиаторы ЭЭЕ 800/4 мощностью 0,8 кВт. Цена 120\$/шт.

▪ Холл 9,66 м² - устанавливается радиатор ЭЭЕ 800/4 мощностью 0,8 кВт. Цена 120\$/шт.

▪ Санузел 5,13 м² - устанавливается радиатор ЭЭЕ 600/4 мощностью 0,6 кВт. Цена 120\$/шт.

▪ Тамбур (по желанию заказчика) - один радиатор ЭЭЕ 600/4 мощностью 0,6 кВт. Цена 120\$/шт.

Необходимость в котельной отпадает, можно использовать как гардеробную либо кладовую.

2 этаж

▪ Спальня 10,53м² устанавливается один радиатор ЭЭЕ 1200/6 мощностью 1,2кВт. Цена 120\$/шт.

▪ Спальня 15,21м² устанавливается один радиатор ЭЭЕ 1600/8 мощностью 1,6кВт. Цена 190\$/шт.

▪ Холл 7,6м² устанавливается радиатор ЭЭЕ 800/4 мощностью 0,8кВт. Цена 120\$/шт.

▪ Санузел 6м² устанавливается радиатор ЭЭЕ 600/4 мощностью 0,6кВт. Цена 120\$/шт .

Общая стоимость электрического отопления коттеджа 90,49м² электрорадиаторами «ЭффектЭнерго» серии «Эконом» составляет 1200\$.

▪ Установка одного радиатора 7.5\$., получаем 10шт. -75\$.

Итого: электрическое отопление плюс монтаж - 1275\$.

▪ Пиковая мощность электрического отопления составит 8,4кВт. Среднее потребление за отопительный период составит 2,5-3кВт/час.

▪ Стоимость владения данной системой электрического отопления при однотарифном счетчике: За отопительный сезон 7месяцев - 430\$.

▪ Стоимость при двухтарифном счетчике 50\$./месяц.

▪ Стоимость за сезон 360\$.

▪ Монтаж электрического отопления для данного коттеджа 2 часа.

	Стоимость отопления в месяц	Стоимость СО	Стоимость годового обслуживания	Стоимость отопления в год (7 мес.)
Дрова	50-60*	1360*	120*	470*
Газ	30*	6410*	150*	360*
Электричество	60*	1275*	нет	420*

* — Расчеты приведены в ознакомительных целях и цены могут отличаться от актуальных на данный момент.

Выводы

1. Отопление дровами выходит дорогим и довольно хлопотным делом.
2. Газовое отопление (при подсчете всех составляющих) получается ненамного дешевле электрического отопления. Разница изначальных вложений составляет около 5000\$. Перспектива окупаемости вложения в газовое отопление составляет более 10 лет.
3. Электрическое отопление является наиболее экологически чистым, дешёвым и более доступным. Чтобы им пользоваться нужна лишь электроэнергия, которую можно покупать у БелЭнерго (единственный поставщик электричества в Беларуси) или же выработать самим, например, с помощью ветроустановок.

Литература

- Журнал «Идеи вашего дома» №3 Март 2016.
Интернет-магазин отопительного оборудования <http://megavatt.dom.by/>
Пособие по расчету систем отопления, В.В. Покотилов, Вена, 2006г. В.В. Покотилов «Системы водяного отопления».
Указ Президента Республики Беларусь от 23 марта 2016 г. № 107 "Об оплате жилищно-коммунальных услуг, оказываемых населению".
Внутренние санитарно-технические устройства: Часть 1. отопление. Под ред. к.т.н. И.Г. Староверова. М. Стройиздат – 1990г. 358с.
Отопление: Андреевский А.К., Минск, «Высшая школа», - 1974 – 431

УДК 621.314

БИО БАТАРЕИ

Немкович Е.Г., Тиханович С.В., Шакинко А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

В наше время энергия играет важнейшую роль в жизни человека. Без неё не будет работать ни одно современное устройство. С каждым годом потребность в электроэнергии возрастает, невозобновимые источники энергетических ресурсов иссякают, поэтому учёные всего мира работают над созданием технологий, позволяющих использовать энергию от возобновимых источников. Одним из перспективных и наиболее экологичных направлений является выработка электроэнергии из органики.

Био батареи являются одним из недавних открытий в сфере выработки электроэнергии из органических материалов. Принцип их работы основан на биоэнергии катализе, когда ферменты воздействуют на органические составляющие. К преимуществам био батарей можно отнести их портативность, экологичность, незначительное количество отходов или их отсутствие.

В данный момент развивается несколько направлений в сфере разработки био батарей. К наиболее активно развивающимся относят био батареи, работающие на глюкозе, бумаге и бактериях.

Как ни странно, благодаря использованию био батарей, работающих на глюкозе, простая шоколадка, может дать нам энергию способную приводить в движение электромотор небольшого вентилятора. Электричество из шоколада, точнее из отходов шоколадной фабрики: растворов нуги и карамели, получено британским микробиологом Lynne Mackaskie (Л. Маккаскаки). В опытах, проводимых ей в лаборатории университета Бирмингема, бактерии *Escherichia coli* «съедали» карамель и, расщепляя сахар, производили водород. Полученный водород передавался в топливный элемент, вырабатывающий энергию, способную приводить в движение электромотор небольшого вентилятора. Батарея способна перерабатывать в электричество также кубики сахара, которые в будущем планируют заменить морковью. Бактерии *E. Coli* производят ферменты, расщепляющие углеводы, выпуская атомы водорода. Демонстрируя эффективность этих батарей, исследователи соединяют последовательно несколько топливных ячеек и используют батарею для маленького робота по имени EcoBot 50 граммов сахара достаточно, чтобы робот функционировал 8 часов.

Кроме того, глюкоза вырабатывается и в организме живых существ, в том числе и человека, что в будущем может обусловить их применение в сфере медицины.

Также в качестве продукта получения чистой органической энергии может послужить обычная бумага, которая остается в огромных количествах ввиду активного ее использования в корпоративных и личных нуждах.

В основе идеи лежит использование биологического фермента – целлюлозы, относящегося к классу гидролаз. Он служит катализатором химических реакций и известен тем, что активно расщепляет целлюлозу на более простые составляющие. При этом происходит синтез глюкозы, которая используется в качестве основного источника энергии практически всеми живыми существами на нашей планете.

Конструктивно био-батарея представляет собой небольшую емкость с ферментированным раствором, в которой разлагаются кусочки целлюлозы – в ее роли выступает обыкновенный упаковочный картон. Вырабатываемая при этом глюкоза расщепляется специальным набором ферментов, при этом вырабатывается энергия, которая и преобразуется в электричество. Остается только снять его с клемм батареи направить к потребителю.

Теоретически, при полной переработке листа офисной бумаги формата А4 можно выработать таким способом до 18 Вт энергии. Однако в силу множества технических

особенностей на практике результат не дотягивает даже до половины этого значения. Тем не менее, эта био батарея является первым в мире прототипом такого рода энергетических устройств.

Исследователи так же обнаружили, что бактерии способны производить электричество, когда вступают в контакт с металлом. Учеными была создана синтетическая версия морских бактерий, известных как *Oneidensis Shewanella*, используя при этом только белки для трансфера электронов от внутренней части микроба к элементу. Они заключили их в слои пузырьков, которые представляют из себя небольшие липидные капсулы (жир), такие же точно, из которых сделана бактериальная мембрана. После этих приготовлений исследователи протестировали, насколько хорошо происходит обмен электронов между бактерией-донором и железосодержащим минералом. Это первый в истории науки случай, когда удалось реально увидеть процесс взаимодействия компонентов клеточной мембраны с различными веществами.

Теперь ученые всерьез задумались о создании батареек, которые работали бы при помощи бактерий.

На сегодняшний день био батареи являются одним из самых перспективных направлений в энергетике. Они обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как повсеместное распространённость их «топлива», экологичность, безотходность. Эти достоинства будут впоследствии обеспечивать их широкое применение.

Литература

1. Tetsuo Nozawa. Sony Unveils Paper-powered Bio Battery [Электронный ресурс].URL: <http://techon.nikkeibp.co.jp>.
2. Urba Ziyauddin Siddiqui1 , Anand K.Pathrikar. THE FUTURE OF ENERGY BIO BATTERY./IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology/Volume: 02 Issue: 11 /Nov-2013.
3. Zhu Zhiguang , Tam Tsz Kin , The Sun fangfang , Chun You & Y. -H. Percival Zhang. A high-energy-density sugar biobattery based on a synthetic enzymatic pathway:[Электронный ресурс].URL: <http://www.nature.com>

УДК 53.082.62

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Логвинов М.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Тепловая энергия является наиболее доступной и распространенной и по сравнению с электрической, поэтому задача преобразования тепловой энергии в электрическую, наиболее выгодную для транспортировки и преобразования в другие виды энергии, настоящее время занимает важное место в энергетике. Самым массовым, на данный момент, способом конвертации тепловой в энергию в электрическую является тепловая электростанция, которая преобразует тепловую энергию в энергию вращения вала электрогенератора. Существуют различные модификации таких электростанций. Но существуют и другие методы для преобразования теплоты в электричество, например, термоэлектрогенераторы.

Термоэлектрогенератор — это устройство, предназначенное для прямого преобразования тепловой энергии в электричество посредством использования в его конструкции термоэлементов, работа которых возможно благодаря термоэлектрическим явлениям. Термоэлектрические явления — совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках.

К термоэлектрическим явлениям относят:

– Эффект Зеебека (явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах);

– Эффект Пельтье (термоэлектрическое явление, при котором происходит выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока в месте контакта (спая) двух разнородных проводников);

– Эффект Томсона (закрывающийся в том, что в однородном неравномерно нагретом проводнике с постоянным током дополнительно к теплоте, выделяемой в соответствии с законом Джоуля — Ленца, в объёме проводника будет выделяться или поглощаться дополнительная теплота Томсона в зависимости от направления тока).

В некоторой степени все эти эффекты одинаковы, поскольку причина всех термоэлектрических явлений — нарушение теплового равновесия в потоке носителей.

В рамках классической электронной теории металлов при соприкосновении двух разных металлов с работами выхода A_1 и A_2 (примем $A_1 < A_2$), электроны находящиеся у поверхности раздела металлов, вследствие теплового движения будут переходить из металла с меньшей работой выхода в металл, для которого работа выхода больше. Процесс будет длиться до тех пор, пока работа по перемещению электронов за счет контактной разности потенциалов $(\varphi'_1 - \varphi'_2)$ не станет равной разности работ выхода:

$$e \cdot (\varphi'_1 - \varphi'_2) = A_2 - A_1,$$

где e - заряд электрона.

Еще одной причиной возникновения контактной разности потенциалов является различная концентрация электронов в металле. Если n_1 и n_2 - концентрация электронов в первом и втором металлах, и $n_1 > n_2$, то будет происходить преимущественный перенос электронов из первого металла во второй. В результате первый металл приобретет положительный заряд, а второй - отрицательный, что приведет к разности потенциалов:

$$\varphi''_1 - \varphi''_2 = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура.

Как правило, $\varphi'_1 - \varphi'_2 \gg \varphi''_1 - \varphi''_2$.

Результирующая контактная разность потенциалов равна:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

Работа выхода электронов из металлов зависит от температуры. Следовательно, контактная разность потенциалов также зависит от температуры. Если температура контактов замкнутой цепи, состоящей из нескольких металлов, неодинакова, то полная ЭДС контура не будет равна нулю, и в цепи возникает электрический ток. Это явление и называют термоэлектрическим.

Контактная разность потенциалов возникает не только между двумя металлами, но также и между полупроводниками, металлом и полупроводником, двумя диэлектриками. В небольшом интервале температур термо-ЭДС E можно считать пропорциональной разности температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1)$$

Где α_{12} — термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термо-ЭДС).

В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако, строго говоря, он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры α_{12} меняет знак.

Представление о величинах термоэлектродвижущей силы при разных спае металлов можно получить из таблицы 1.

Таблица 1. Термоэлектродвижущие силы (в милливольтгах) при температурах спаев 0 и 100 °С соответственно.

Спай	термоЭДС, мВ
висмут - сурьма	10,0
висмут - платина	6,5
никель - железо	3,2
серебро - железо	2,6
платина - железо	1,7
никель - платина	1,6
ртуть - платина	0,0

Явление Зеебека используется для измерения температуры. Для этого применяются термоэлементы, или термопары — датчики температур, состоящие из двух соединенных между собой разнородных металлических проводников. Если контакты (обычно спаи) проводников, образующих термопару, находятся при разных температурах, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила, которая зависит от разности температур контактов и природы применяемых материалов.

Чувствительность термопар выше, если их соединять последовательно. Эти соединения называются термобатареями (или термостолбиками). Все четные спаи поддерживаются при одной температуре, а нечетные при другой. ТермоЭДС такой батареи равна сумме термоЭДС ее отдельных элементов.

Термопары применяются как для измерения ничтожно малых разностей температур, так и для измерения очень высоких и очень низких температур (например, внутри доменных печей или жидких газов). Точность определения температуры с помощью термопар составляет, как правило, несколько кельвин, а у некоторых термопар достигает $\gg 0,01$ К. Термопары обладают рядом преимуществ перед обычными термометрами: имеют большую чувствительность и малую инерционность, позволяют проводить измерения в широком интервале температур и допускают дистанционные измерения.

Явление Зеебека в принципе может быть использовано для генерации электрического тока. Так, уже сейчас К. П. Д. полупроводниковых термобатарей достигает 18%. Следовательно, совершенствуя полупроводниковые термоэлектрогенераторы, можно добиться эффективного прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

Эффект Пельтье связан с процессами выделения и поглощения тепла, поэтому он применяется в холодильных машинах. В последние годы модули, работа которых основана на эффекте Пельтье, стали активно использоваться для охлаждения разнообразных электронных компонентов компьютеров. Их, в частности, стали применять для охлаждения современных мощных процессоров, работа которых сопровождается высоким уровнем тепловыделения.

Благодаря своим уникальным тепловым и эксплуатационным свойствам устройства, созданные на основе термоэлектрических модулей — модулей Пельтье, позволяют достичь необходимого уровня охлаждения компьютерных элементов без особых технических трудностей и финансовых затрат. Данные средства поддержки необходимых температурных режимов их эксплуатации являются чрезвычайно перспективными. Они компактны, удобны, надежны и обладают высокой эффективностью работы.

Суть открытого эффекта заключается в следующем: при прохождении электрического тока через контакт двух проводников, сделанных из различных материалов, в зависимости от его направления, помимо теплоты выделенной по закону Джоуля-Ленца, выделяется или поглощается дополнительное тепло, которое получило название тепла Пельтье. Степень проявления данного эффекта в значительной мере зависит от материалов выбранных проводников и используемых электрических режимов.

Тепло Пельтье, как показали экспериментальные исследования, можно выразить формулой:

$$Q_n = \Pi \cdot q$$

где q — количество прошедшего электричества ($q = I \cdot t$), Π — так называемый коэффициент Пельтье, величина которого зависит от природы контактирующих материалов и от их температуры (некоторые значения коэффициента Пельтье представлены в таблице 2). Эффект Томсона не имеет технического применения, однако его необходимо учитывать в точных расчетах термоэлектрических устройств.

Таблица 2. Значения коэффициента Пельтье для различных пар металлов и температуры спая

Железо-константан		Медь-никель		Свинец-константан	
T, К	Π , мВ	T, К	Π , мВ	T, К	Π , мВ
273	13,0	292	8,0	293	8,7
299	15,0	328	9,0	383	11,8
403	19,0	478	10,3	508	16,0
513	26,0	563	8,6	578	18,7
593	34,0	613	8,0	633	20,6
833	52,0	718	10,0	713	23,4

В настоящее время для термоэлектродгенераторов используются полупроводниковые термоэлектрические материалы, обеспечивающие наиболее высокий коэффициент преобразования тепла в электричество. Список веществ, имеющих термоэлектрические свойства, достаточно велик (тысячи сплавов и соединений), но лишь немногие из них могут использоваться для преобразования тепловой энергии. Современная наука постоянно изыскивает новые и новые полупроводниковые композиции, и прогресс в этой области обеспечивается не столько теорией, сколько практикой, ввиду сложности физических процессов, происходящих в термоэлектрических материалах. Определённо можно сказать, что на сегодняшний день не существует термоэлектрического материала, в полной мере удовлетворяющего промышленность своими свойствами, и главным инструментом в создании такого материала является эксперимент.

Литература

1. Интернет ресурс <http://www.ixbt.com/cpu/peltje.html>

2. Князев М.А., Русакевич Д.А., Трофименко Е.Е. Изучение термоэлектрических явлений и их применение. - Минск: БНТУ, 2010. - 27 с.
3. Путилов К.А. Курс физики. Т. 2. М.: Гостехтеориздат, 1963. - 583 с.

УДК 621.355

ПОДБОР АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Разуменко А.А., Ермолаев А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Для обеспечения электроэнергией системы, содержащей фотоэлементы, в период нехватки энергии, например, при недостаточной освещённости, в ночное время или при временном возрастании потребления, предусматривается установка дополнительных элементов, которые бы запасали энергию в период её переизбытка и отдавали бы в систему при её недостатке. Данная задача легко решается при помощи аккумулятора.

Электрический аккумулятор — это химический источник электрического тока, основная специфика которого заключается в способности на обратимость внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование (через заряд-разряд) для электропитания различных электротехнических устройств, оборудования и т.д.

Целью данной работы является анализ существующих и подбор оптимального типа аккумуляторов для использования в электрических системах с фотоэлементами.

Как правило, для полноценной солнечной системы емкости одного аккумулятора недостаточно, поэтому используются несколько устройств.

Аккумуляторная батарея (АКБ) – группа соединенных вместе аккумуляторов, которые хранят энергию в автономных системах альтернативных источников энергии. В аккумуляторную батарею объединяются одинаковые аккумуляторы: одного типа, одной емкости, а также желательно из той же партии. Стоит отметить, что использование в батарее разнородных аккумуляторов приводит к неправильной работе и ее преждевременному выходу из строя.

Для повышения емкости общей АКБ используются три метода коммутации:

- Последовательный. В этом случае общая емкость будет идентична емкости одного устройства (у всех аккумуляторов этот параметр должен быть одинаков), а напряжение сложится из суммы напряжений каждой АКБ.
- Параллельный. При этом общее напряжение будет равно напряжению одного устройства, а емкости сложатся.
- Последовательно-параллельный. При такой коммутации сложатся и емкости, и напряжения.

Самым распространённым типом аккумуляторов является свинцово-кислотный аккумулятор, который широко используется, в том числе и в автомобилях. Однако использование обычных автомобильных аккумуляторов нерационально для длительного использования. Они не приспособлены для длительных разрядов малыми токами, имеют значительный саморазряд и очень плохо выдерживают постоянные и продолжительные циклы разрядки/зарядки. Обычный срок службы (в зависимости от условий эксплуатации) – 2-4 года, что равно примерно 200 циклам полного разряда [1].

Чаще всего в солнечной энергетике применяют герметичный свинцово-кислотный аккумулятор, производимый с использованием 2 различных технологий:

- Gelled Electrolite (или гелевые аккумуляторы).
- Absorbent Glass Mat (AGM).

Основу аккумуляторов AGM составляют абсорбирующие стекломаты, между которыми находится электролит в связанном состоянии. Эксплуатироваться они могут в любом положении (к примеру, на боку). Такие аккумуляторы очень дешевы и отличаются довольно высоким уровнем заряда. Средний срок функционирования составляет 5 лет.

Кроме того, внешний аккумулятор AGM-типа имеет такие особенности, как:

- компактность;
- возможность транспортировки в заряженном состоянии;

- способность выдерживать до 800 циклов при глубине разряда 30% и до 500 при глубине разрядки до 80%;
- возможность использования в плохо вентилируемом помещении;
- быстрая зарядка (порядка 7,5ч на полное восстановление);
- оптимальные рабочие температуры 15-25° С. Однако, такие аккумуляторы неплохо работают и при более низких температурах.

Данные АКБ удовлетворительно переносят недозаряд, перезаряд же быстро приводит к их выходу из строя. Но оставлять их в разряженном состоянии крайне не рекомендуется.

Гелевые аккумуляторы благодаря особой желеобразной консистенции электролита также могут работать в любом положении. Роль разделителя свинцовых пластин играет силикагель, в порах которого и удерживается гелевый электролит. Поскольку силикагель полностью заполняет все пространство между электродами, их осыпание практически полностью исключено, а значит, невозможно и закорачивание.

Более того, за счет такой конструкции гелевые АКБ гораздо устойчивее к глубоким, 100%-ным, разрядам и выдерживают значительное число циклов. В среднем рабочая цикличность данных АКБ на 50% AGM-батареях с аналогичными параметрами. Соответственно, и цена их несколько выше.

Таким образом, гелевые аккумуляторы дороже, но экономичнее и рациональнее в эксплуатации, а кроме того, они не нуждаются в регулярном обслуживании и могут оставаться 100%-разряженными на протяжении нескольких дней. А за счет малого саморазряда в них теряется минимум энергии.

Аккумулятор OPzV (стационарные батареи с панцирными положительными пластинами и разделителем с гелевым электролитом) - является тоже свинцово-кислотным гелевого типа. Отличие от обычного аккумулятора в другом строении. В OPzV положительно заряженные пластины являются трубчатыми. Особенности технологии OPzV позволяют гораздо эффективнее поглощать и отдавать энергию, а срок службы и устойчивость к глубоким разрядам увеличивается по сравнению с обычными гелевыми аккумуляторами в полтора - два раза. Аккумуляторы OPzV немного дороже, но надежнее для солнечных систем. Обычный срок службы (в зависимости от условий эксплуатации) - 7-12 лет.

Использование аккумуляторов OPzV оптимально по соотношению цена/результат для большинства систем и особенно рекомендуется для тех случаев, где повышенные требования к качеству и долговечности. Аккумуляторы могут быть только напряжением 2 В, из которых собираются батареи нужного напряжения. Как правило, срок службы аккумуляторов OPzV почти в два раза выше срока службы простых гелевых.

Литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LiFePO₄ - LFP) в качестве катода используют фосфат железа. LiFePO₄ по сравнению с аккумуляторами на базе свинца имеют многократное преимущество по весу, ресурсу работы и пробегу на одной зарядке. Они превосходят по всем основным параметрам иные виды аккумуляторов, изготавливаемых на основе ионов лития, о чем свидетельствуют их технические характеристики. Основные преимущества LiFePO₄: число циклов заряд/разряд до потери 20% ёмкости 2000-5000 - отсутствует эффект "памяти", длительный срок службы - более 10 лет, диапазон рабочих температур от -300С до +700С с сохранением характеристик, имеют термическую и химическую стабильность, что существенно повышает безопасность [2].

С учетом специфики работы солнечных станций, к аккумуляторам предъявляется целый ряд особых требований:

- способность выдерживать значительное количество циклов заряда/разряда;
- небольшой саморазряд;
- большой зарядный ток (особенно для гибридных контуров с котлами на жидком топливе);
- большой рабочий диапазон температур;
- минимальное обслуживание.

При выборе АКБ для гелиосистем стоит руководствоваться следующими критериями:

- **Емкость.** Это один из самых важных параметров, поскольку АКБ должна держать энергию около 4-х суток. Параметр этот определяется исходя из требуемого энергопотребления. Причем к нужной расчетной емкости необходимо прибавить порядка 35% (для некоторых моделей – до 50%) «запаса прочности». Это необходимо, чтобы избежать полной разрядки аккумулятора.

- **Длительность разрядки/зарядки.** Дело в том, что производители номинальные емкости своих АКБ для разных условий, соответственно реальная емкость и зарядка аккумулятора (по времени) будут различаться. Например, устройство с номиналом емкости для 10-часового интервала имеет в два раза большую реальную емкость, чем модель с 20-часовым интервалом (при одинаковом номинале, разумеется).

- **Вес и габариты.** При одном и том же номинале разные аккумуляторы (свинцового типа) могут иметь различный вес. При этом реальная емкость будет выше у того аккумулятора, который весит больше.

- **Эксплуатационные условия.** Сюда относятся рабочие температуры, необходимость вентиляции помещения и периодичность обслуживания.

- **Срок использования и количество разрядочных циклов.** При этом нужно помнить, что чем меньше глубина разрядки в ходе эксплуатации, тем большее число циклов способен выдержать аккумулятор.

Выбирая АКБ для солнечной системы и рассчитывая ее параметры, стоит помнить, что при хранении и преобразовании в аккумуляторах теряется часть энергии. Эффективность современных аккумуляторов для гелиостанций достигает, как правило, 85%.

Подводя итоги, учитывая вышеупомянутые критерии, гелевые аккумуляторы следует использовать тогда, когда нет возможности их обслуживать, а мощность системы незначительна. Обеспечить длительное время работы системы с высокой мощностью могут OPzV и Литий-железо-фосфатные аккумуляторы, однако последние применяются редко, ввиду значительного увеличения в цене по сравнению с аккумуляторами на базе свинца. Для резервных систем предусмотрены AGM батареи.

Литература

1. Курзуков, Н.И. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. / Н.И. Курзуков, В.М. Ягнятинский - М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2008. - 88с.
2. Хрусталева, Д.А. Аккумуляторы. / Д. А. Хрусталева. - М.: Изумруд, 2003. - 224с.

УДК 621.313

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

Белькевич А.А., Неклюдов В.В., Носков П.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Электромобиль — автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов и т. п.), а не двигателем внутреннего сгорания. Электромобиль следует отличать от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электрической передачей, а также от троллейбусов и трамваев. Также можно сказать, что электромобиль — это безрельсовое транспортное средство с автономным химическим источником энергии (тока).

Тяговый электродвигатель (ТЭД) — электрический двигатель, предназначенный для приведения в движение транспортных средств (электровозов, электропоездов, тепловозов, трамваев, троллейбусов, электромобилей, электроходов, большегрузных автомобилей с электроприводом, танков и машин на гусеничном ходу с электропередачей, подъемно-транспортных машин, самоходных кранов и т. п.). Вращающиеся тяговые электродвигатели регулируются ГОСТ 2582-2013 (кроме аккумуляторных погрузочно-разгрузочных машин, электротягачей, электротележек и теплоэлектрических автотранспортных систем).

Основное отличие ТЭД от обычных электродвигателей большой мощности заключается в условиях монтажа двигателей и ограниченном месте для их размещения. Это привело к специфичности их конструкций (ограниченные диаметры и длина, многогранные станины, специальные устройства для крепления и т. п.).

Тяговые двигатели городского и железнодорожного транспорта 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 трогании с места ток может в 2 раза превышать номинальный). 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 коммутацию двигателей. Кроме того, ТЭД шахтных электровозов должны удовлетворять требованиям, относящимся к взрывозащищенному электрооборудованию.

Аккумуляторные электромобили являются самым первым и простым видом электромобилей. Первые работоспособные модели были построены ещё в конце XIX века. Активно использовались в США вплоть до 20-х годов XX века. В течение 30-40 гг. наиболее активно применялись в Германии. С 1947 г. широко используются в Англии.

Принципиальная схема аккумуляторного электромобиля в общем случае следующая: аккумуляторная батарея через силовую электропроводку и систему регулирования (управления) тягового электродвигателя соединяется с ТЭД, который, в свою очередь, через карданный вал передаёт главной передаче крутящий момент.

Батареи располагаются на шасси электромобиля чаще всего таким образом, чтобы имелась возможность: осуществлять быструю замену батарей аккумуляторов, легкого доступа к выводным штырям и отверстиям для заливки электролита. Для этого чаще всего батареи располагают в двух ящиках по бокам электромобиля.

Характерной особенностью электромобилей, оснащенных ТЭ (топливными элементами), является то, что масса энергосиловой установки не изменяется при изменении её энергоёмкости, а увеличение запаса хода может быть достигнуто за счет увеличения массы топлива в топливных баках (как в автомобилях с ДВС).

Таким образом, с одной стороны, ТЭ позволяют существенно повысить запас хода электромобиля, но, с другой стороны, топливо для них имеет высокую стоимость, а также может быть токсичным и при переработке в ТЭ выделять в атмосферу вредные вещества.

Электромобили на солнечных батареях

Существует множество конструкций электромобилей на солнечных батареях, так называемых «солнцемобилей», однако их общей проблемой является низкий КПД батарей (обычно порядка 10-15 %, передовые разработки позволяют добиться 30%), что не позволяет запасать значительное количество энергии за день, сокращая суточный пробег; к тому же солнечные элементы бесполезны ночью и в пасмурную погоду. Вторая проблема — дороговизна солнечных батарей.

Почему выгодно ездить на электрокарах

Легковые автомобили на электротяге с каждым годом получают все больший спрос у потребителей благодаря своей высокой экономичности. Ежегодно рынок пополняется новыми моделями электрокаров, так что выбирать уже сегодня есть из чего. Несомненно, безопасность для экологии планеты – важный стимул приобретения электрического автомобиля. Тем не менее, даже если вы не слишком озабочены экологическими проблемами, существует несколько причин, которые могут побудить вас пересесть с автомобиля на бензине на электрокар.

1. Простота обслуживания.

В автомобилях на электротяге отсутствуют масла и топливо, а также значительно меньше подвижных элементов по сравнению с машинами дизельными либо бензиновыми двигателями. Кроме того, скорость большинства электромобилей ниже обычных, поэтому у вас будет значительно меньше риска попасть в аварийную ситуацию, а также меньшим будет и износ. Посещать АЗС для заправки топливом также не требуется – большинство электрокаров можно зарядить даже от электросети в гараже, что для людей сверхзанятых чрезвычайно удобно.

2. Дешевизна.

Несмотря на тот факт, что пока электромобили стоят недешево – например, Ford Focus Electric — 29 000 долларов, Volkswagen e-Golf – порядка 34 000 \$, а за Tesla Model S нужно отдать аж 75 000, есть уверенность, что по мере развития рынка цены на электрокары будут снижаться. С ростом цен на топливо электромобили приобретают все большую актуальность – ведь расходы на топливо, т. е. на электричество, здесь гораздо меньшие. Во многих европейских странах уже сегодня действуют различные правительственные программы, цель которых – финансовое стимулирование перехода на электротранспорт.

3. Ездить на электромобиле приятно.

Действительно, передвижение на электрокаре приятно по причине отсутствия шума, и, если вы отправляетесь в продолжительную поездку, этот фактор очень важен. Кроме этого, парковка таких автомобилей более проста – им обычно нужно меньше места, а это крайне важно в мегаполисах, где каждый метр парковочных мест просто на вес золота.

4. Электромобили не истощают ресурсы.

Не секрет, что доступные человеку мировые нефтяные запасы постепенно истощаются, и зависимость от нефти делает автовладельцев заложниками постоянно увеличивающихся цен на нее. Электричество – ресурс, доступный человеку для генерации. «Добыча» топлива для электромобилей гораздо безопаснее, чем для бензиновых или дизельных моделей.

5. Безопасность для экологии.

Даже если вы не слишком задумываетесь об экологическом благополучии Земли, наверняка у вас есть (или будут в будущем) дети, внуки и правнуки. Неужели вам совершенно безразлично, на какой планете они будут жить, и каким воздухом дышать? Электромобили не дают вредных выбросов, поэтому никоим образом не усугубляют парниковый эффект и не истощают озоновый слой. С электромобилями в качестве основного средства передвижения воздух наших городов будет чистым, без токсичных выхлопов.

Электромобили, электровелосипеды, электросамокаты и прочие разновидности электрического транспорта становятся все более востребованными. Надеемся, что пройдет еще немного времени, и такой транспорт станет преобладающим.

Литература

1. Электроавтомобиль <http://www.electra.com.ua>
 2. Автомобильный журнал «КОЛЕСА» <http://www.kolesa.ru/>
 3. Музей истории электротранспорта <http://museums.by/>
 4. Электротранспорт <http://electrotransport.su/originalnye-novinki-jelektroskuterov/>.
 5. Электротранспорт <http://electrotransport.su/vodorodnyj-jelektrokar-ot-audi/>.
 6. Электротранспорт <http://electrotransport.su/instrukcija-dlja-giroskuterov/>.
 7. Электротранспорт <http://electrotransport.su/mikroavtobus-xxi-veka-ot-volkswagen/>
 8. Электротранспорт <http://electrotransport.su/pochemu-vygodno-ezdit-na-jelektrokarah-pjat-osnovnyh-prichin/>.
- История электротранспорта <http://electrotransport.su/nemnogo-ob-istorii-jelektrotransporta>

УДК 004.93

БЕСКОНТАКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Подиев Н. Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е. И.

В данной работе предлагается метод управления БПЛА посредством бесконтактных трёхмерных жестов руки человека, которые в последние годы стали часто применять в системах человеко-машинного общения, как естественный и удобный метод взаимодействия между человеком и компьютером [3]. В качестве базовых команд управления выбираются движения летательного аппарата по всем направлениям пространства, включая поворот вокруг вертикальной оси, взлёт и посадку. На Рисунок 1 приведена структура предложенной системы управления.

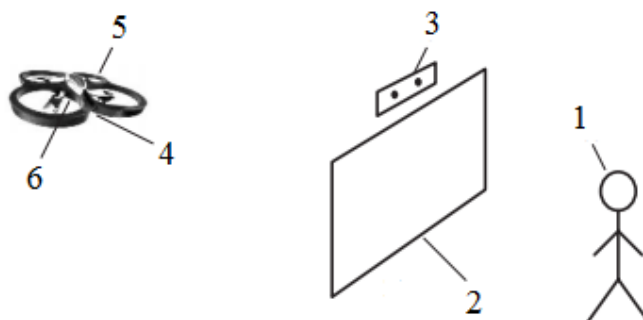


Рисунок 1. Структура системы бесконтактного управления БПЛА
посредством жестов человека:

1- Человек, осуществляющий жесты, 2.- Пользовательский интерфейс, 3. -
Трёхмерный сенсор, 4 - Передняя камера, 5. - AR. Drone, 6. - Нижняя камера.

Компонентами системы являются:

- 1) вертолёт AR.Drone 2.0 [4] в качестве модели БПЛА;
- 2) трёхмерный сенсор "Asus Xtion Pro Live" [5] для захвата видеоряда и распознавания жестов руки человека;
- 3) пользовательский интерфейс, в котором видны изображения, получаемые от двух камер БПЛА и трёхмерного сенсора, а также распознанные команды управления.

Распознавание жестов человека осуществляется посредством анализа каждого кадра видеоряда трёхмерного сенсора. Распознанные жесты передаются в качестве базовых команд в блок управления AR.Drone 2.0 через связь Wi-Fi.

Жесты управления. Для естественности управления жесты человека подобраны таким образом, чтобы все движения руки соответствовали движению полёта БПЛА. В табл. 1 приведены выбранные жесты и базовые команды управления AR.Drone 2.0. Управление полётом БПЛА происходит следующим образом.

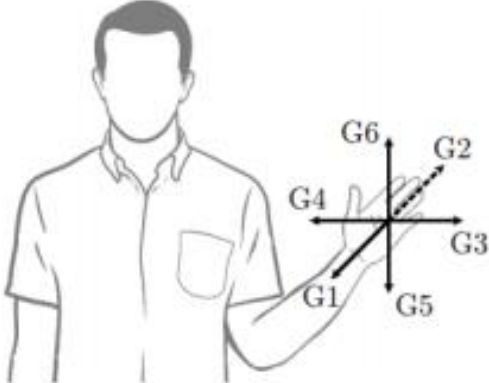
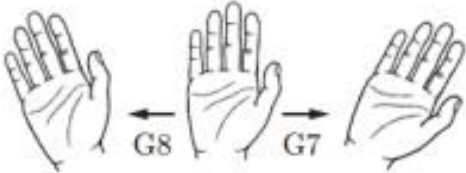

1. Человек согнутую в кулак руку устанавливает в некоторое положение и открывает ладонь руки (жест G9), что приводит к старту двигателей БПЛА.
2. Для управления направлением полёта человек тянет руку в желаемом направлении (жесты G1–G6).
3. Поворот БПЛА вокруг своей оси и посадка осуществляются посредством жестов G7, G8 и G10.

Распознавание жестов руки проводится посредством покадровой обработки видеоряда, формируемого трёхмерным сенсором. В настоящее время известны алгоритмы [6] и свободно доступные программные библиотеки [7], которые позволяют различать ключевые точки тела человека. Для определения позиции ладони руки используются библиотеки OpenNI и NITE, с помощью которых можно в реальном времени распознавать позицию

произвольной точки ладони руки посредством обработки изображения. Пусть заданы пространственная точка M с координатами (x, y, z) и её ортогональная проекция m с координатами (x, y) на плоскость наблюдения $z = 0$. Под дальностным изображением будем понимать цифровое изображение $d(x, y)$, каждая точка (x, y) которого принимает неотрицательные целые значения, равные величине расстояния от точки M до точки m . Дальностное изображение всегда можно преобразовать во множество $\{(x, y, d(x, y))\}$, являющееся моделью наблюдаемого объекта.

Т а б л и ц а 1

Жесты руки, соответствующие базовым командам управления

Жест	Обозначение жеста	Базовая команда
	G1	Вперёд
	G2	Назад
	G3	Влево
	G4	Вправо
	G5	Вниз
	G6	Вверх
	G7	Поворот вокруг своей оси против часовой стрелки
	G8	Поворот вокруг своей оси по часовой стрелке
	G9	Старт
	G10	Посадка

Позиция центра ладони руки вычисляется алгоритмом извлечения изображения руки.

1. Создаётся сфера вокруг точки (x_r, y_r, z_r) радиуса $\lambda = dC/zr$, где C — некоторая константа, зависящая от характеристик конкретного сенсора (в экспериментах $C = 80000$).
2. Помечаются все точки дальностного изображения, которые не входят в построенную сферу.
3. Помечаются все точки дальностного изображения, которые не связаны с распознанной точкой ладони (x_r, y_r, z_r) во множестве непомеченных точек.
4. На базе исходного изображения создаётся новое дальностное изображение размером $(2\lambda + 1) \times (2\lambda + 1)$, в которое входят только непомеченные точки (Рисунок 2).

Одним из недостатков дальностных изображений является присутствие шума в контурах наблюдаемых фигур, что затрудняет распознавание позиции центра ладони. Для преодоления данной проблемы производим сглаживание.

Обозначим через (x_k, y_k, z_k) распознанную в кадре k позицию центра ладони руки и через (x'_k, y'_k, z'_k) — сглаженную позицию центра ладони, которая вычисляется следующим образом:

$$x'_k = \begin{cases} x'_k - 1, & \text{если } |x_k - x'_{k-1}| \leq \tau, \\ x_k - \text{sg}(x_k - x'_{k-1})\tau, & \text{если } |x_k - x'_{k-1}| \geq \tau, \end{cases}$$

$$y'_k = \begin{cases} y'_k - 1, & \text{если } |y_k - y'_{k-1}| \leq \tau, \\ y_k - \text{sg}(y_k - y'_{k-1})\tau, & \text{если } |y_k - y'_{k-1}| \geq \tau, \end{cases}$$

$$z'_k = \begin{cases} z'_k - 1, & \text{если } |z_k - z'_{k-1}| \leq \tau, \\ z_k - \text{sg}(z_k - z'_{k-1})\tau, & \text{если } |z_k - z'_{k-1}| \geq \tau, \end{cases}$$

$$\text{sg}(a) = \begin{cases} -1, & \text{если } a < 0, \\ 0, & \text{если } a = 0, \\ 1, & \text{если } a > 0. \end{cases}$$

где τ — целочисленная константа, устанавливаемая пользователем, и определяющая величину допустимого шума (в проведённых экспериментах $\tau = 12$). В первом кадре видеоряда $(x_1, y_1, z_1) = (x_1, y_1, z_1)$.

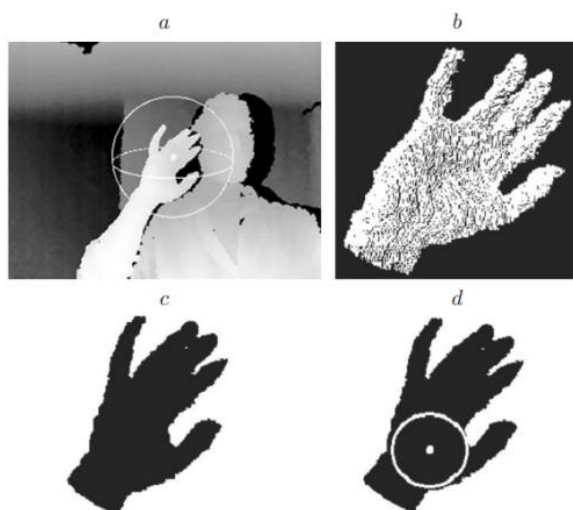


Рисунок 2. Извлечение и обработка изображения руки.

(а) дальностное изображение человека, распознанная точка ладони и сфера вокруг найденной точки; б) извлеченное изображение руки человека; в) бинарное изображение; д) центр ладони и вписанная окружность с максимальным радиусом).

Жесты G7 и G8 распознаются посредством вычисления моментов бинарного изображения руки [9]. Обозначим через $\{M_{0,0}\}$, $\{M_{1,0}, M_{0,1}\}$ и $\{M_{2,0}, M_{1,1}, M_{0,2}\}$ моменты нулевого, первого и второго порядка соответственно, причём

$$M_{0,0} = \sum_x \sum_y f(x, y),$$

$$M_{1,0} = \sum_x \sum_y x f(x, y), \quad M_{0,1} = \sum_x \sum_y y f(x, y),$$

$$M_{2,0} = \sum_x \sum_y x^2 f(x, y), \quad M_{1,1} = \sum_x \sum_y x y f(x, y), \quad M_{0,2} = \sum_x \sum_y y^2 f(x, y),$$

где

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если точка } (x, y) \text{ имеет черный цвет,} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

Введём следующее обозначение [9]:

$$\arctan^*(i, j) = \begin{cases} \arctan(i/j), & j \geq 0 \\ \arctan(i/j) + \pi, & i \geq 0, j \leq 0 \\ \arctan(i/j) - \pi, & i \leq 0, j \leq 0 \\ +\pi/2, & i \geq 0, j = 0 \\ -\pi/2, & i \leq 0, j = 0 \\ \text{не определен} & i = 0, j = 0 \end{cases}$$

Функция \arctan^* удовлетворяет условию $\arctan(i, j) \in (-\pi, \pi]$. Угол наклона ладони руки определяется величиной

$$\theta = \frac{\arctan^*(b.(a-c))}{2},$$

где

$$a = \frac{M_{2,0}}{M_{0,0}} - x_c^2, c = \frac{M_{0,2}}{M_{0,0}} - y_c^2, b = 2 \left(\frac{M_{1,1}}{M_{0,0}} - x_c y_c \right), x_c = \frac{M_{1,0}}{M_{0,0}}, y_c = \frac{M_{0,1}}{M_{0,0}}.$$

Поворот ладони руки по часовой стрелке (G8) вызывает увеличение угла Θ , поворот против часовой стрелки (G7) — уменьшение. Таким образом, обнаружение характера изменений угла Θ в каждом кадре видеоряда приводит к распознаванию указанных жестов. Для распознавания жестов G9 и G10 вычисляются площади S_1 и S_2 описанного и вписанного многоугольников бинарного изображения руки соответственно. Если значение $|S_1 - S_2|$ меньше порогового значения \bar{S} , то ладонь руки считается согнутой в кулак, в противном случае — открытой (в экспериментах принято $\bar{S} = \left[\frac{62 \cdot 10^7}{z} \right]$, где z — расстояние от центра ладони до плоскости наблюдения).

Заключение. Представленные в данной работе набор команд и метод распознавания жестов предназначены для бесконтактного управления полётом БПЛА. Преимуществом подхода по сравнению с [3] является отсутствие необходимости надевания на руку или тело специальных устройств и повязок. В отличие от подхода [4] предлагаемый метод не требует движения всего тела человека. В качестве недостатка отметим, что метод не пригоден в задачах высокоточного управления полётами. Базовые команды управления могут быть легко дополнены новыми жестами человека применительно к другим моделям БПЛА. В дальнейшем предполагается усовершенствование методов обработки и распознавания дальностных изображений, инвариантных к аффинным преобразованиям [10], и проведение экспериментов по отработке траекторных движений квадрокоптера на основе предложенного метода управления [11].

Литература

1. Parrot AR.Drone 2.0: Even more piloting possibilities! URL: <http://blog.parrot.com/2014/01/06/parrot-ar-drone-2-0-even-more-piloting-possibilities/> (дата обращения: 01.02.2014).
2. AR.Drone + Kinect [Video]. URL: <http://ardrone.parrot.com/best-of-user-videos/2012/02/17/ardrone-kinect/> (дата обращения: 01.02.2014).
3. Devyatkov V., Alfimtsev A. Human-computer interaction in games using computer vision techniques // Image Processing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. Hershey, USA: IGI Global, 2011. Ch. 10. P. 146–167.
4. AR.Drone 2.0. URL: <http://ardrone2.parrot.com/> (дата обращения: 01.02.2014).
5. Asus Xtion Pro Live. URL: http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/ (дата обращения: 01.02.2014).
6. Shotton J., Fitzgibbon A., Cook M. et al. Real-time human pose recognition in parts from single depth images // Proc. CVPR'11. IEEE, 2011. P. 1297–1304.
7. OpenNI: The standard framework for 3D sensing. URL: <http://www.openni.ru/openni-sdk/index.html> (дата обращения: 12.02.2015).

8. Palagyi K. Skeletonization and its applications // K. Palagyi's home page. URL: <http://www.inf.u-szeged.hu/palagyi/skel/skel.html> (дата обращения: 01.02.2014).
9. Freeman W. T., Anderson D. B., Beardsley P. et al. Computer vision for interactive computer graphics // IEEE. Comput. Graph. Appl. 1998. 18, N 3. P. 42–53.
10. Роженцов А. А., Морозовский К. В., Баев А. А. Модифицированное обобщённое преобразование Хафа для обработки трёхмерных изображений с неизвестными параметрами вращения и масштабирования // Автометрия. 2013. 49, № 2. С. 30–41.
11. Белоконь С. А., Золотухин Ю. Н., Котов К. Ю. и др. Использование фильтра Калмана в системе управления траекторным движением квадрокоптера // Автометрия. 2013. 49, № 6. С. 14–24.

УДК621.316

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Сивец М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И

Химическими источниками тока (ХИТ) называются электрохимические устройства, в результате работы, которых химическая энергия окислительно-восстановительных процессов превращается в электрическую энергию постоянного тока. К ним относятся гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы. Следует заметить, что деление элементов на гальванические и аккумуляторы до некоторой степени условное, так как некоторые гальванические элементы, например, щелочные батарейки, поддаются подзарядке, но эффективность этого процесса крайне низка. Аккумуляторы относят к вторичным многоразовым источникам тока, так как они работают за счет обратимых химических реакций, которые могут происходить в цикле «зарядка — разрядка» до тысячи раз. Во всех видах химических источниках тока используются электролиты – водные, неводные, твердые.

Основу химических источников тока составляют два электрода (отрицательно заряженный анод, содержащий восстановитель, и положительно заряженный катод, содержащий окислитель), контактирующие с электролитом. Между электродами устанавливается разность потенциалов — электродвижущая сила, соответствующая свободной энергии окислительно-восстановительной реакции. Действие химических источников тока основано на протекании при замкнутой внешней цепи пространственно-разделённых процессов: на отрицательном аноде восстановитель окисляется, образующиеся свободные электроны переходят по внешней цепи к положительному катоду, создавая разрядный ток, где они участвуют в реакции восстановления окислителя. Таким образом, поток отрицательно заряженных электронов по внешней цепи идет от анода к катоду, то есть от отрицательного электрода (отрицательного полюса химического источника тока) к положительному. Это соответствует протеканию электрического тока в направлении от положительного полюса к отрицательному, так как направление тока совпадает с направлением движения положительных зарядов в проводнике.

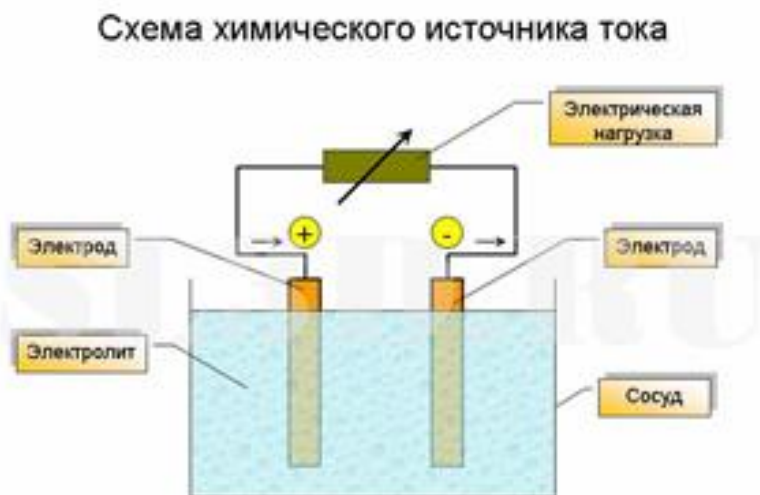


Рисунок 1. Схема химического источника тока

Топливные элементы (ТЭ) – перспективные химические источники тока (электрохимические генераторы), способные непрерывно работать за счет постоянного

подвода к электродам новых порций реагентов и отвода продуктов реакции. Топливными элементами называются устройства, в которых химическая энергия окисления топлива превращается в электрическую энергию. Устройство элемента чрезвычайно простое. В герметически закрытом сосуде установлено два пористых, металлических (чаще всего никелевых) электрода, разделенных слоем раствора гидроксида калия (натрия). В прибор подаются газообразный водород и кислород.

Гибридом химического источника тока и конденсатора являются ионисторы - это полярные электрохимические приборы, которые способны запасать и в последствие высвобождать электрическую энергию посредством внутреннего перераспределения ионов электролита. По своим электрическим параметрам они занимают промежуточное положение между электролитическими конденсаторами большой емкости и аккумуляторами, но по принципу действия - отличаются как от тех, так и от других. Например, для накопления и высвобождения энергии в аккумуляторных батареях используются обратимые химические реакции, а накопление энергии в конденсаторах происходит путем образования заряда на его обкладках под действием приложенного электрического поля. В ионисторах же, происходят несколько иные процессы.

Работу ионистора в процессе накопления и высвобождения энергии схематично поясняет рисунок 2. Под действием приложенного электрического поля, ионы электролита внутри ионистора двигаются по направлению к электродам, имеющим противоположный заряд. Сосредоточившись на границе раздела между электродом и электролитом, и уравнившись, таким образом, противоположный заряд электрода, анионы и катионы формируют так называемый электрический двойной слой.

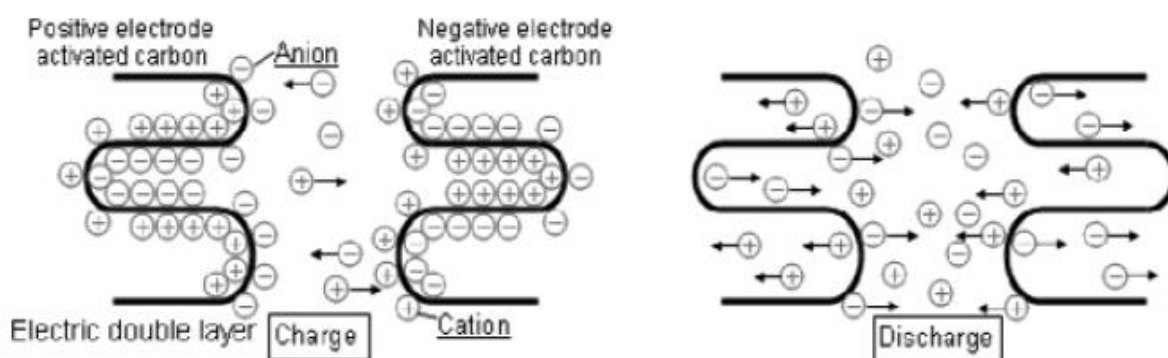


Рисунок 2. Схема ионистора

Обладая такими прекрасными параметрами, как очень большая емкость, не критичность к процессу зарядки и короткому замыканию, низкий ток утечки, широкий диапазон рабочих температур, и длительный срок службы, ионисторы сегодня уже используются в очень разных по назначению электронных устройствах. Ионисторы можно условно разделить на слаботочные и сильноточные. Слаботочные используются в основном как резервный источник энергии для поддержания схем памяти и настроек в цифровых устройствах, бытовой технике, компьютерах, и т. д... Сильноточные применяются, как правило, для облегчения работы аккумуляторных батарей при их работе с большими импульсными токами. Например, запуск стартеров в автомобилях, работа в источниках бесперебойного питания, в системах управления электродвигателями, и т. д... В таких случаях экономится около 20 % емкости батареи. Перспективно применение ионисторов и в энергосберегающих технологиях (солнечные батареи, ветрогенераторы), а также в разработке и производстве электромобилей.

Выводы

Химические источники тока имеют огромное значение для развития науки, для освоения космоса и развития общества; наиболее перспективным типом ХИТ являются элементы с литиевым анодом и апротонными растворителями; кроме гальванических элементов существует другие, не менее перспективные источники тока, например, ионисторы. При использовании нескольких типов ХИТ можно добиться надежной продолжительной работы аппаратов без доступа электроэнергии, получаемой от электростанций, например, системы аккумулятор - ионистор, которая используется в источниках бесперебойного питания.

Литература

1. Варламов Р.Г., Варламов В.Р. Малогабаритные источники тока, М., 1988.
2. Виноградов Ю.А. Радиолобителю-конструктору, М., 1999.
3. Дасоян М. А. Химические источники тока. — 2-е изд. — Л., 1969.

УДК621.38

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОРАЗМЕРНОГО КРЕМНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Ковалевич В.С.

Научный руководитель - старший преподаватель Германович Е.И.

Основными химическими элементами для создания изделий микроэлектроники являются германий и кремний. Кремний, по сравнению с германием, является идеальным материалом для микроэлектронного производства благодаря большому проценту его содержания в земной коре и уникальным технологическим свойствам. На этом материале легко создается диэлектрический слой двуокиси кремния путем обычного термического окисления. Толщина диэлектрика обычно находится в пределах 0,3 – 1,5 микрона, но такого слоя достаточно для защиты кремния от диффузии примесей и хорошей диэлектрической изоляции р – n переходов.

В кристаллической решетке атомы кремния занимают только 25% объема, в результате чего материал имеет малую плотность (2,32 г/см³, для германия – 5,35 г/см³) и допускает сильное легирование элементами III и V групп. Каждый введенный в кристалл кремния атом III или V группы добавляет один носитель заряда с положительным знаком (дырку) или один электрон соответственно. Концентрация носителей заряда в результате этого может изменяться в широких пределах – от 10¹⁰ до 10²¹ см⁻³. Высокие значения коэффициентов диффузии легирующих элементов в кремнии позволяют формировать локальные области микронных и субмикронных размеров с дырочным (p-Si) или электронным (n-Si) типом проводимости, совокупность которых и составляет основу любой интегральной схемы или полупроводникового прибора.

Однако монокристаллический кремний имеет и недостатки. Один из них связан с относительно невысокой подвижностью носителей заряда (для электронов – 1500 см²/(В·с), дырок – 600 см²/(В·с), что ограничивает быстродействие приборов. Другой недостаток монокристаллического кремния заключается в том, что его нельзя использовать для создания светоизлучающих приборов.

Существуют два подхода в решении данной проблемы. Один из них состоит в легировании кремния редкоземельными элементами (Er, Eu, Gd), в результате чего такой модифицированный кремний обладает излучающими свойствами в инфракрасном диапазоне. Другой подход заключается в формировании на поверхности или в объеме диэлектрических материалов (например, SiO₂) кремниевых кристаллов нанометровых размеров (1 нм = 10⁻⁹ м). Среди подобных технологических приемов наиболее доступным и дешевым является создание нанокристаллов посредством вытравливания в монокристаллах кремния мельчайших пустот, в результате чего оставшиеся области кремния могут иметь размеры в несколько нанометров. Монокристаллический кремний, пронизанный сетью пор (пустот), получил название пористого кремния (ПК). Пористый кремний является низкоразмерным. В пористом кремнии в ходе электрохимического травления можно получать квантовые точки, квантовые нити, элементы с различной фрактальной размерностью. Поэтому пористый кремний с пористостью П > 50 % следует рассматривать как один из материалов нанoeлектроники.

Характерной особенностью пористого кремния является большая суммарная площадь его внутренней поверхности. В зависимости от величины пористости и геометрии пор она может составлять для макропористого кремния от 10 до 100 м²/см³, для мезопористого – от 100 до 300 м²/см³ и для микропористого – от 300 до 800 м²/см³.

Низкоразмерный кремний в зависимости от условий травления обладает широким интервалом величин удельного сопротивления 10⁻² – 10¹¹ Ом·см. С электрической точки зрения материал с пористостью более 50 % полностью обеднен носителями заряда.

Наиболее удивительным свойством пористого кремния является его способность эффективно люминесцировать в видимой области спектра.

Уже в первых опытах выяснилось, что эффективно люминесцируют образцы пористого кремния, в которых пористость превышает 50 %. Эффективность фотолюминесценции может достигать десятков процентов. Длиной волны излучения можно управлять, изменяя условия анодирования. Оказалось, возможным получать красный, зеленый и синий цвета, необходимые для изготовления цветных дисплеев.

Формирование низкоразмерного кремния

Низкоразмерный кремний, как указывалось выше, представляет собой монокристаллический кремний, пронизанный сетью каналов с размерами от единиц микрометров до единиц нанометров. Формирование таких каналов в кремнии осуществляют анодной обработкой пластины монокристаллического кремния в электролитах на основе плавиковой кислоты. На Рисунок 1 представлена упрощенная схема процесса анодизации.

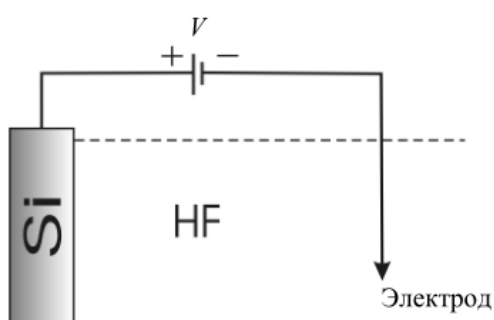


Рисунок 1. Упрощенная схема процесса анодизации

В кремнии, легированном донорными примесями, дырки являются неосновными носителями и их концентрация мала, поэтому для протекания анодной электрохимической реакции необходимы не только ионы фтора, но и внешний фактор, стимулирующий генерацию дырок. На рис. 2 показано распределение зарядов на кремниевом аноде n-типа проводимости, помещённом в электролит, содержащем плавиковую кислоту.

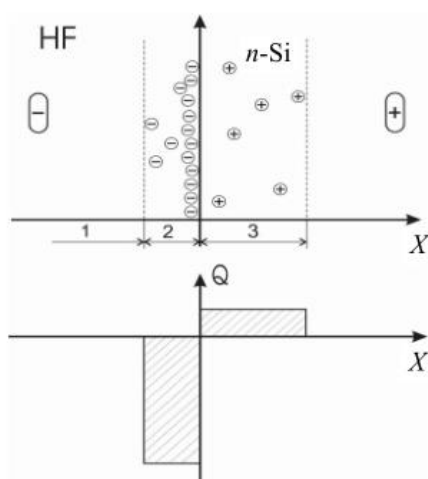


Рисунок 2. Распределение зарядов на границе монокристалла кремния и электролита:
1 – электролит; 2 – слой Гуи – Гельмгольца; 3 – кремний n-типа проводимости

Применение низкоразмерного кремния

В приповерхностном слое кремния образуется обедненная область с положительным объёмным зарядом, а в электролите на границе раздела – тонкий слой из отрицательно заряженных ионов.

Толщина обедненного слоя в полупроводнике и соответствующий потенциальный барьер определяются степенью легирования кремния. Без дополнительной генерации или инъекции дырок анодная реакция происходит не будет. Концентрацию дырок в приповерхностном слое кремния с электронным типом проводимости можно увеличить несколькими способами:

- нагреванием;
- воздействием электромагнитного излучения;
- ударной ионизацией при электрическом пробое приповерхностной области пространственного заряда в кремнии.

В кремнии, легированном акцепторными примесями, дырки являются основными носителями, и их концентрация в практически важных случаях оказывается достаточной для протекания реакции. Поэтому для кремния р-типа проводимости основное влияние на протекание анодных реакций будет оказывать процесс доставки ионов фтора.

Процесс формирования каналов в кремнии р-типа может идти и без внешних воздействий (нагревание, воздействие электромагнитного излучения, ударная ионизация при электрическом пробое приповерхностной области пространственного заряда).

В пористом кремнии в ходе электрохимического травления возможно формирование кремниевых элементов нанометровых размеров. Для нанокристаллов с размерами менее 4 нм в пористом кремнии наблюдаются те же явления, что и в других наноструктурированных материалах: квантование энергетического спектра, увеличение ширины запрещенной зоны с 1,1 до 1,8–2,9 эВ, уменьшение диэлектрической проницаемости. Возможности технологии анодного травления позволяют получать квантовые точки, квантовые нити, элементы с различной фрактальной размерностью. Поэтому пористый кремний с $\Pi > 50\%$ следует рассматривать как один из материалов нанoeлектроники.

Необычайный интерес исследователей к пористому кремнию вызвало обнаруженное в 1990 г. Л. Кэнхэмом (L.Canham) излучение света пористым материалом ($\Pi > 50\%$) при комнатной температуре в видимой области спектра при облучении лазером. Как уже было сказано о том, что монокристаллический кремний не может быть использован для создания светоизлучающих устройств, так как его излучательная способность ничтожно мала (менее 0,001%). Открытие Кэнхэмом интенсивной фотолюминесценции с эффективностью 5 % дало возможность приступить к разработке кремниевых приборов, испускающих свет в широком спектральном диапазоне. Исследования показали, что длиной волны λ , определяющей цвет излучения, можно управлять, изменяя условия анодирования. Оказалось, возможным получать красный, зеленый и синий цвета, необходимые для изготовления цветных дисплеев.

Явление фотолюминесценции эффективно поддерживается при введении в объем атомов углерода или железа, а современные электролюминесцентные приборы имеют срок службы несколько лет при квантовой эффективности порядка 1–10 %. Пористый кремний в зависимости от условий травления обладает широким интервалом величин удельного сопротивления ($10^{-2} - 10^{11}$ Ом/см), диэлектрической проницаемости (1,75–12) и показателя преломления (1,2–3,5). Это означает, что пористый кремний может быть использован как в качестве полупроводниковых, так и диэлектрических слоев в приборах и интегральных схемах. Оказалось, что в рамках одного процесса травления варьированием режимов (плотностью тока анодирования, освещенностью) можно получать многослойные структуры, когда каждый слой обладает заданной пористостью и геометрией пор.

Ключевое место оптоэлектроники в информационных системах обусловлено тем, что более 90 % информации, которую получает человек, составляет видеoinформация. В связи с широким кругом применений в системах получения информации, ее обработки, хранения, передачи и отображения, а также разнообразием используемых материалов правомочной

является постановка вопроса о целой серии оптоэлектронных технологий, включая индикаторные системы, формирователи сигналов изображения, волоконно-оптические линии передачи информации, преобразователи солнечной энергии, оптическую вычислительную технику.

Для целей интегральной оптики применяются планарные световоды, представляющие собой пленочную структуру, в которой свет распространяется в слое с высоким показателем преломления, ограниченном с двух сторон слоями с меньшим показателем преломления.

Для пористого кремния этот показатель зависит от пористости (чем больше пористость, тем меньше показатель преломления), поэтому формирование многослойных структур с разной пористостью позволяет получать на их основе волноводные элементы с низким уровнем потерь. Потери на поглощение можно дополнительно уменьшить окислением слоев пористого кремния.

Новым этапом в исследовании и применении пористого кремния стало создание регулярных пористых матриц – кремниевых кристаллов, в которых в определенном порядке сформированы глубокие (до 500 мкм) поры с поперечным размером до 20 мкм (рис. 3). На первом этапе на поверхности кремниевой пластины n-типа создается пленка SiO_2 , в которой методом фотолитографии формируется сетка правильных отверстий (окон). Далее в окнах создаются ямки травления в виде перевернутых пирамид. После этого проводится уже знакомое нам электрохимическое травление при дополнительной подсветке с тыльной стороны.

Устройства, изготовленные на основе низкоразмерного кремния: фотодетекторы, световоды, антиотражающие покрытия солнечных элементов, светоизлучающие структуры, геттер нежелательных примесей из кремния, фотоприемники, солнечные батареи, элементы кремниевой микромеханики, толстые диэлектрические слои, теплозащитные пленки, сверхчувствительные сенсоры, интегральные конденсаторы, буферные слои для металлизации, буферные слои для эпитаксии, биологические имплантаты, интерференционные фильтры, катоды вакуумной микроэлектроники, фотонные кристаллы.

Литература

1. Шелованова, Г.Н. Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники: курс лекций / Г.Н. Шелованова; ИПК СФУ. – Красноярск, 2009. – 220 с.
2. Интернет ресурсы: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1159.html>

УДК 620.91

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Довыденко В.А., Петрович М.В., Шевчук А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Ветроэнергетика — отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Энергия ветра является формой солнечной энергии: образование ветра является следствием деятельности солнца. Таким образом, запасы энергии ветра являются неисчерпаемыми, что позволяет относить ее к возобновляемым источникам энергии. Кроме того, энергию ветра относят к так называемой «чистой», или «зеленой», энергии, поскольку она характеризуется практически нулевым уровнем выбросов парниковых газов.

Факторы, способствующие развитию ветроэнергетики

Развитию ветроэнергетики способствует ряд факторов:

– Растущая зависимость большинства развитых и развивающихся стран от импорта энергоресурсов. Более того, импортеры все больше полагаются на импорт энергоресурсов из стран и/или регионов, характеризующихся частыми вооруженными конфликтами и политической нестабильностью. Такая ситуация создает риски для энергетической безопасности стран-импортеров, что побуждает их правительства стимулировать развитие и использование альтернативных источников энергии.

– Увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду. Растущие объемы выбросов парниковых газов и вредных веществ топливосжигательными установками в атмосферу способствуют изменению климата и негативно сказываются на здоровье человека. В результате возникает необходимость развития низкоуглеродной энергетики, которая характеризуется низкими или даже нулевыми выбросами парниковых газов и вредных веществ в атмосферу.

– Развитие технологий и накопленный опыт. С начала коммерческого использования ВЭУ прошло уже почти 30 лет. В настоящее время при производстве ВЭУ используются современные, более эффективные и дешевые материалы, увеличилась единичная мощность ВЭС. Кроме того, сказывается эффект от масштаба. Такая ситуация ведет к сокращению издержек по производству ВЭУ и выработке электроэнергии на них, следовательно, к повышению конкурентоспособности ВЭУ по сравнению с другими технологиями производства электроэнергии.

В связи с данными факторами Беларусь так же стремится реализовать свой потенциал в данном направлении.

На данный момент, согласно, Национальной программы развития местных и возобновляемых источников на 2011 – 2015 гг. на территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок, где можно разместить ветроустановки (ВЭУ). Общий энергетический потенциал при этом оценивается в 1600 МВт мощности. Среднегодовая скорость фонового ветра колеблется от 3 до 4 м/сек на высоте 10-12 метров. Поэтому в программе оговорена необходимость тщательного технико-экономического обоснования строительства ветроустановок в каждом отдельном случае. В настоящий момент на территории РБ действует 18 ветроустановок суммарной мощностью 4 МВт. ВЭУ действуют в Гродненской, Минской, Витебской, Могилевской областях. Самая крупная ветроустановка в Беларуси действует в Новогрудском районе, ее мощность составляет 1,5 МВт.

Преимущества и недостатки ветроэнергетики

Ветроэнергетика характеризуется следующими преимуществами:

– энергия ветра является доступным и возобновляемым источником энергии, запасы которого неисчерпаемы;

- отсутствие парниковых и вредных выбросов в атмосферу при производстве электрической энергии;
- небольшая площадь занимаемой территории (возможность использования земли, на которой установлена ВЭУ, для других целей, например, для сельского хозяйства);
- возможность автономного энергообеспечения удаленных и изолированных территорий.

Таблица 1. Перечень объектов, на которых предусмотрено строительство ветроустановок:

№п/п	Наименование и местонахождение объекта	Количество установок	Суммарная установленная мощность, МВт	Год ввода в эксплуатацию объекта
1	Ветропарк, Лиозненский и Городокский районы	25	50,00 – 60,00	2015
2	Ветроустановка, Браสลавский район, дер. Красногорка	1	0,13	2011
3	Ветроустановка, Новогрудский район	1	1,50	2011
4	Ветропарк, Новогрудский район	10	25,00	2015
5	Ветропарк, Ошмянский район	10 – 15	20,00 – 30,00	2015

К числу недостатков ветроэнергетики относятся:

- непостоянная и нерегулируемая выработка электроэнергии;
- более высокие капитальные издержки на единицу мощности по сравнению с традиционными тепловыми электростанциями;
- необходимость развития сетевой инфраструктуры;
- шумовое, визуальное и электромагнитное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Принцип работы ветроустановок. Сроки окупаемости

Автономные ветрогенераторы состоят из генератора, хвостовика, мачты, контроллера, инвертора и аккумуляторной батареи. У классических ветровых установок – 3 лопасти, закреплённых на роторе. Вращаясь, ротор генератора создаёт трёхфазный переменный ток, который передаётся на контроллер, далее ток преобразуется в постоянное напряжение и подаётся на аккумуляторную батарею.

Ток, проходя по аккумуляторам, одновременно и подзаряжает их и использует АКБ как проводники электричества. Далее ток подаётся на инвертор, где приводится в наши привычные показатели: переменный однофазный ток 220В, 50 Гц. Если потребление небольшое, то сгенерированного электричества хватает для электроприборов и освещения, если тока с ветряка мало и не хватает - то недостаток покрывается за счет аккумуляторов.

Ветрогенераторы современных конструкций позволяют использовать экономически эффективно энергию ветра. С помощью ветрогенераторов сегодня можно не только поставлять электроэнергию в «сеть», но и решать задачи электроснабжения локальных или островных объектов любой мощности и любых мощностных потребностей.

Сроки окупаемости, а также целесообразность установки ветрогенератора для каждого случая рассматриваются отдельно. Они обусловлены такими факторами:

- наличием ветра в данном месте;
- близостью электросети;
- наличием места для установки ветрогенератора.

Начальная скорость вращения ветрогенераторов 2 м/с, скорость при которой генератор работает со стопроцентной эффективностью равна 9-12 м/с. Соответственно, чем больше скорость ветра в данном регионе, тем более эффективно работает генератор. Но это не значит, что если скорости ветров - меньше максимальных, то ветрогенератор устанавливать не выгодно. Специалисты помогут в выборе места, а также наиболее эффективной модели и комплектации ветрогенераторов.

Срок окупаемости ветрогенераторов 5-7 лет. При отсутствии электросети, а также постоянных веерных отключениях срок окупаемости составит от 3 до 5 лет. Под сроком окупаемости мы понимаем то, что в течение указанных сроков за счет экономии Вы возвращаете потраченные на ветрогенератор деньги, а после этого электроэнергию которую вырабатывает генератор Вы получаете совершенно бесплатно. Это достигается за счет того, что срок службы ветрогенераторов составляет 20-25 лет.

Интересен тот факт, что электросети обязаны дороже покупать выработанную альтернативным способом энергию у частных лиц. По расчётам, если бы такой ветряк, как в Новогрудке, установил частник, то, продавая энергию государству по завышенным тарифам, он заработал бы за год около полтора миллиона долларов.

Пока инвесторы занимаются установкой дорогостоящих ветряков по всей стране, житель Беларуси сам смастерил на своем участке ветряк из старых автозапчастей, который при скорости ветра более пяти метров в секунду вырабатывает 5 кВт энергии, питая с десяток 12-вольтовых светодиодных лампочек по всему участку. Даже если наступит полное безветрие, лампочки во дворе будут гореть ещё две ночи, потребляя запасенную аккумулятором энергию.



Рисунок 1. Ветряк из старых автозапчастей

Ветроэнергетику часто критикуют и говорят, что она неконкурентоспособна с обычными видами энергии, и её приходится дотировать. Так и есть, если сравнивать ветряк с газовым месторождением или плотиной ГЭС, то у него мало шансов выжить. Впрочем, всем известно, что ни природного газа, ни существенных гидроресурсов на территории Беларуси нет, а это значит, что развитие ветроэнергетики в Беларуси является отличным вкладом в будущее страны. И не стоит забывать, что энергия ветра не только возобновляемая, но и чистая, а это весомый аргумент.

Литература

1. Energo Belarus http://energobelarus.by/articles/alternativnaya_energetika/dengi_iz_vetra_kak_dobyvayut_zelenye_kilovatty_pod_mogilevom_i_v_novogrudke/
2. Аналитический центр при правительстве РФ <http://ac.gov.ru/files/publication/a/897.pdf>
3. Альтернативные источники энергии <http://www.energya.by/>
4. Про бизнес http://probusiness.by/government_regulation/1180-kak-mozhno-budet-zarabotat-na-prodazhe-zelenoy-energii-posle-vsekh-izmeneniy-v-zakonodatelstve.html
5. Электроэнергетика Беларуси. Настоящее и будущее <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/40/sn34004.html>

УДК 621.91

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Ванюк Э.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Люди успели разработать самые разные методы обработки металлов. Одними из передовых являются методы лазерной обработки. Она очень востребована сейчас из-за ряда характерных преимуществ. Чтобы разрезать металл, лазер должен обладать достаточной мощностью. Эта технология практически никогда не используется в ручной резке.

Главным преимуществом лазерной резки является то, что она не воздействует на металл механически. Деформации находятся на минимальном уровне, и при этом скорость резки довольно велика. А ещё высокая точность помогает делать наиболее сложные детали. Лазерная резка не ограничивает работу с деталями. Могут подойти как плоские детали, так и объёмные. Именно благодаря всем этим преимуществам лазерный метод работы является сейчас ведущим.

Лазерная резка — технология резки и раскроя материалов, использующая лазер высокой мощности и обычно применяемая на промышленных производственных линиях в виде лазерных установок.

Сущность процесса лазерной резки

В станках, предназначенных для лазерной резки металлов, основным режущим инструментом является луч лазера, который очень просто своими руками сфокусировать на практически любой поверхности.

Разрушение металла под воздействием лазерного луча происходит из-за высокой плотности энергии, поступающей от него на саму поверхность.

Этого удастся добиться за счет некоторых уникальных свойств такого луча.

В первую очередь, он обладает монохроматичностью, а это значит, что частота и длина волны всегда имеют постоянные показатели.

Кроме этого, луч от лазера можно сконцентрировать даже на небольшом участке обрабатываемой поверхности.

Также лазерный луч обладает когерентностью, а это означает, что его мощностные показатели увеличиваются в десятки раз благодаря резонансу, вызванному некоторыми типами колебаний.

Лазер для резки металла состоит из:

Особого источника энергии (системы накачки).

Рабочего тела, обладающего эффектом вынужденного излучения.

Оптического резонатора (набора специальных зеркал).

Принцип работы лазера

- 1) Лазерный луч воздействует на металл в определенной точке.
- 2) Сначала вещество нагревается до определенной температуры, затем начинает плавиться.
- 3) На границе плавления возникает углубление.
- 4) Воздействие энергии излучения лазера приводит к второй стадии процесса — кипению и испарению металлического вещества.

По виду лазерные установки различают

- 1) Твердотельные (мощность не более 6 кВт).
- 2) Газовые (мощностью до 100 кВт).
- 3) Газодинамические (мощность от 100 кВт).

В производственных целях наибольшей популярностью пользуется резка металла с **твердотельным лазером**, в котором излучение может подаваться в импульсном или непрерывном режиме. В качестве рабочего тела используется рубин, стекло с примесью

неодима или CaF_2 (флюорит кальция). Главным преимуществом твердотельных лазеров является способность создать мощный импульс энергии за доли секунды.

Газовые лазеры применяются для резки металла в технических и научных целях. Активным телом выступает смесь газообразных азота, углекислого газа и гелия, атомы которых возбуждаются электрическим разрядом и обеспечивают лазерному лучу монохроматичность и направленность.

Большой мощностью отличаются **газодинамические лазеры**. Рабочее тело — углекислый газ. Сначала газ нагревается до предельно высокой температуры, затем его пропускают через узкий канал, где происходит расширение и последующее охлаждение CO_2 . В результате такой процедуры излучается энергия, используемая для лазерной резки металла.

Главными показателями лазерных установок являются:

- Площадь рабочей поверхности в режущем станке;
- Срок службы лазерной трубки;
- Сила лазера.

Рассмотрим распространенные лазерные установки

Твердотельный лазер — лазер, в котором в качестве активной среды используется вещество, находящееся в твёрдом состоянии.

Разновидностями твердотельного лазера являются:

- Волоконный лазер (рисунок 1);
- Полупроводниковый лазер (рисунок 2);

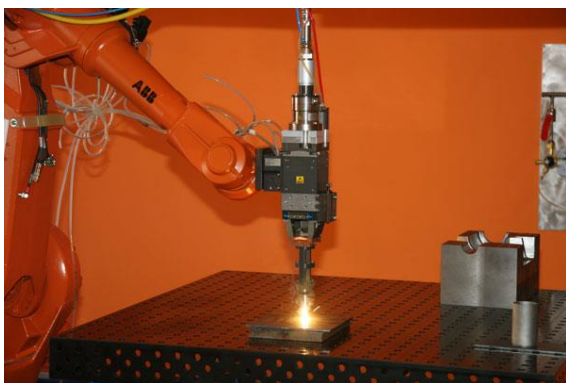


Рисунок 1

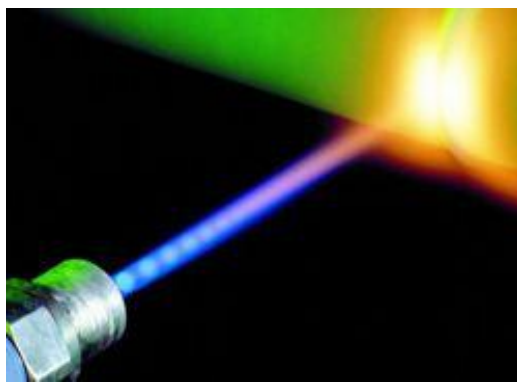


Рисунок 2

Волоконный лазер

Волоконный лазер — лазер, активная среда и, возможно, резонатор которого являются элементами оптического волокна.

Схема волоконного лазера представлена на рисунке 3

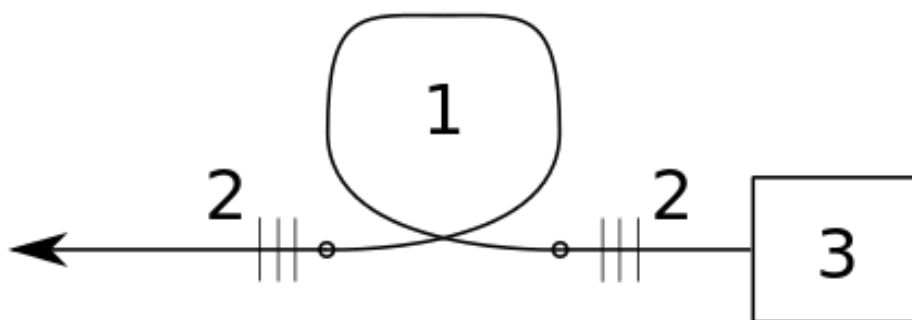


Рисунок 3. 1) — активное волокно, 2) — брэгговские зеркала, 3) — блок накачки.

Накачка лазера — это процесс перекачки энергии внешнего источника в рабочую среду лазера (рисунок 4).

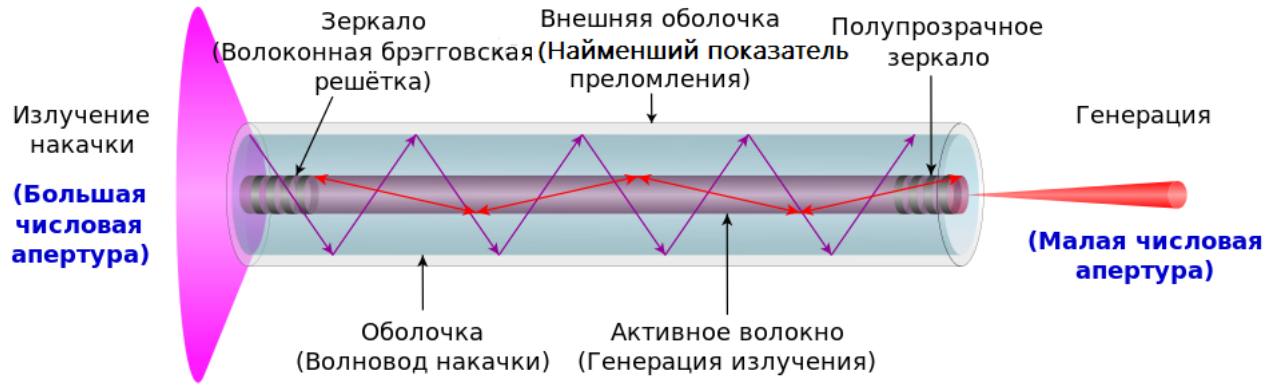


Рисунок 4. Схема накачки лазера, основанного на волокне с двойным покрытием.

Газовый лазер - это лазер, в котором в качестве активной среды используется вещество, находящееся в газообразном состоянии (рисунок 4).

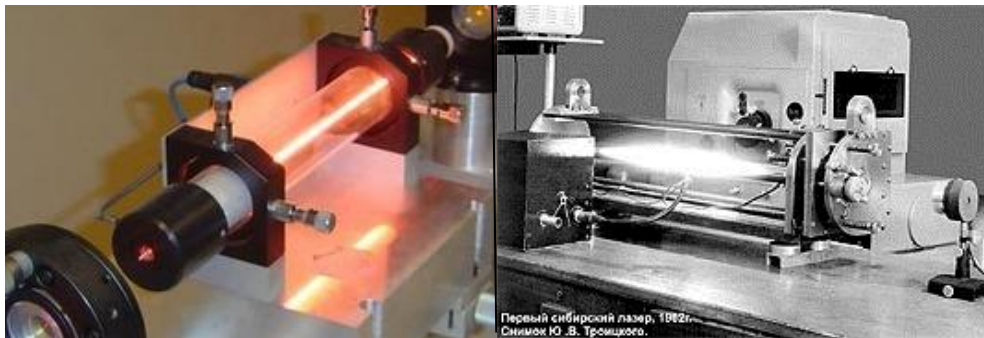


Рисунок 5

Устройство газового лазера (рисунок 6)

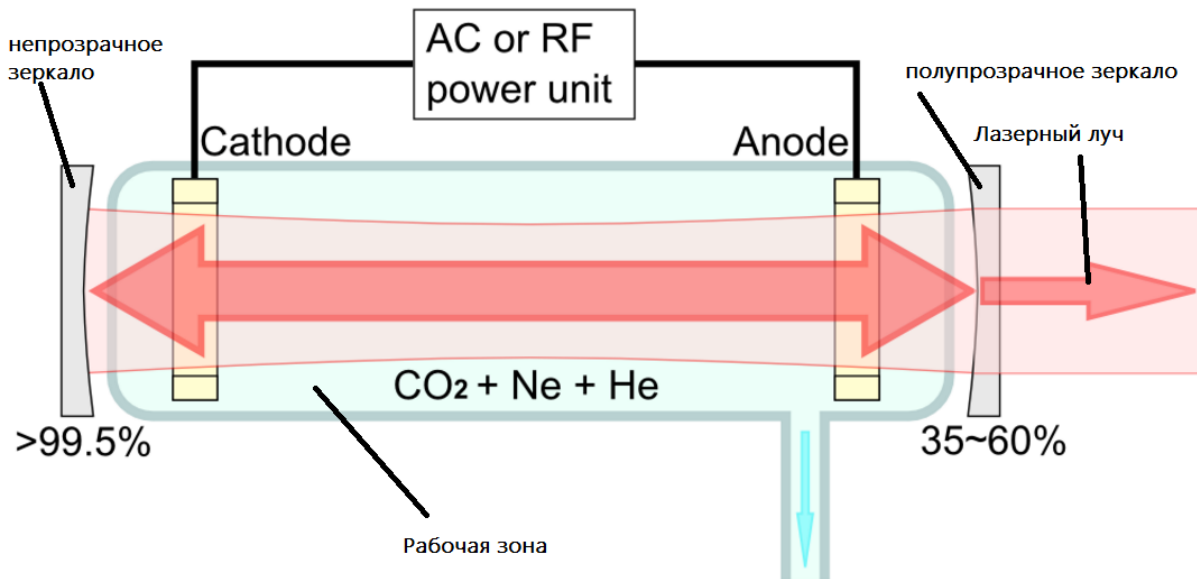


Рисунок 6

Среди преимуществ лазерной резки металла перед другими видами обработки можно выделить:

- * Высокую точность подачи и резки лазерного луча;
 - * твёрдость материала возможна любая, а значит, область их использования становится существенно больше;
 - * Минимум загрязнений на поверхности детали;
 - * Малую вероятность нанесения деформации листам металла;
 - * Снижение энергетических затрат;
 - * Возможность обработки сложных поверхностей;
 - * эффективность труда повышается практически в 2 раза;
 - * возможности на много шире;
- К недостаткам можно отнести:
- * Высокая цена установки;
 - * Износ электронно-лучевой трубки.

Литература

- 1) <http://rezhemmetall.ru/stanok-lazernoj-rezki-metalla.html>.
- 2) <http://www.rujiiecnc.ru/2j-YAG-laser-cutting-machine.html>.
- 3) <http://all-ready.ru/lazernoe-oborudovanie/lazernyy-stanok-rabbit-flat-bed-1220>.
- 4) <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
- 5) <http://laser-trumpf.ru/lazernaya-rezka-metalla.html>.
- 6) http://specpribor76.ru/services_metallobrabotka/lazernaja-rezka/.
- 7) <http://a-n-a.ru/lazernaya-rezka-metalla.html>.
- 8) <http://www.s0alex.ru/abc4a39.html>.

УДК 621.9.06 - 83

ДАТЧИКИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Ошурек М.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Привод подач в системе ЧПУ может осуществляться по двум схемам: с наличием или отсутствием обратной связи по положению рабочего органа станка, по контролируемой координатной оси. В случае привода без обратной связи в качестве двигателя необходимо использовать шаговый мотор.

На рисунке 1 представлена схема привода подач с обратной связью, как по скорости, так и по положению.

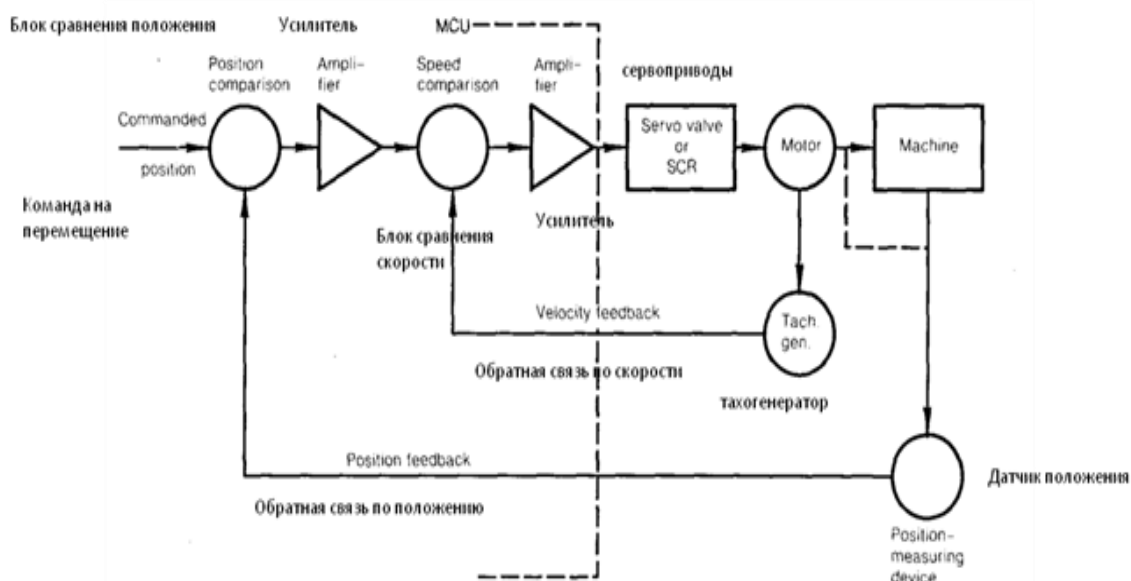


Рисунок 1 - Схема привода подач с обратной связью по скорости и по положению

В функцию блока обратной связи входит непрерывная передача в систему управления информации о фактическом положении рабочего органа станка.

Датчики обратной связи, применяемые в станках с ЧПУ, по принципу их работы можно подразделить на две группы: абсолютные и циклические.

В абсолютных датчиках каждому его положению по всей длине перемещения соответствует вполне определенное и единственное кодовое значение или точно определённая величина монотонно изменяющегося выходного сигнала (рисунок 2.а). Системы с абсолютными датчиками сохраняют информацию о положении рабочего органа станка по соответствующей координатной оси даже после отключения электрического питания и после включения системы вновь не требуют выхода станка в исходные (референтные) точки по каждой координате.

У циклических датчиков изменение параметров выходного сигнала носит циклический характер, принимая одни и те же значения при различных положениях датчика (рисунок 2.б). У циклических датчиков длина перемещения, соответствующая однозначному сигналу, всегда меньше длины всего хода рабочего органа станка, на котором установлен датчик обратной связи. Такие датчики проще по конструкции, но после каждого отключения сети требуют проведения процедуры обнуления, то есть выхода в нулевые точки по каждой координате.

По конструкции датчики обратной связи по положению подразделяются на круговые и линейные.

Круговые датчики, имеющие, как правило, проще конструкцию, монтируются непосредственно на ходовом винте или связаны с ним через шестерёнчатую передачу. Таким образом, они контролируют угол поворота шарикового ходового винта, оставляя без обратной связи конечное звено, а именно зацепление винта с гайкой.

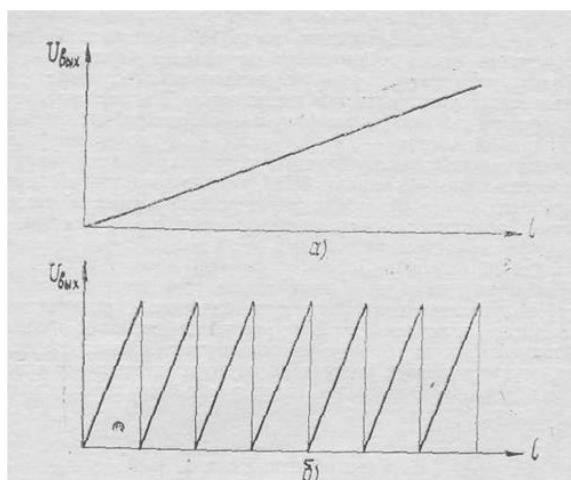


Рисунок 2 - Изменение величины выходного сигнала датчиков:
а) для абсолютных датчиков; б) для циклических датчиков

При использовании линейного датчика (рисунок 3) обратной связью охватываются все звенья кинематической цепи подачи, включая конечное звено – винт с гайкой. Точность обработки при этом значительно возрастает. Однако конструктивно линейные датчики имеют более сложную конструкцию и, соответственно, выше стоимость.

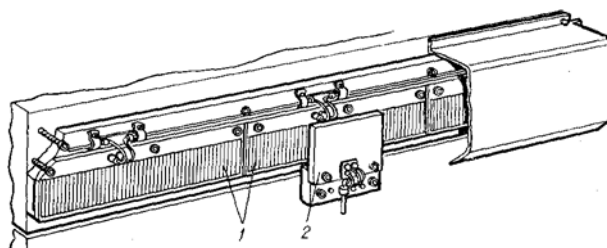


Рисунок 3 - Линейный датчик обратной связи
1 – линейка; 2 – ползун

По виду выходного сигнала датчики подразделяются на кодовые, аналоговые и импульсные.

Кодовые датчики представляют собой диск (для кругового датчика) или пластину (для линейного датчика) из стекла или металла, на которых нанесены шаблоны разрядов в двоичном коде.

Преимуществом кодовых датчиков является то, что они относятся к абсолютным датчикам, которые, в отличие от дискретных датчиков, сохраняют информацию о фактической позиции (или координате перемещения) после отключения и включения вновь системы управления или после сбоя в её работе.

Шаблоны разрядов двоичного кода могут быть исполнены различным образом:

1. Проводимые и не проводимые участки для металлических шкал;
2. Прозрачные или не прозрачные участки для стеклянных шкал;
3. Магнитные или не магнитные участки для шкал из не магнитных материалов.

Пример диска кругового кодового датчика представлен на рисунке 4 Каждое концентрическое кольцо диска включает затемнённые и прозрачные (или проводимые и не

проводимые, или магнитные или немагнитные) участки и соответствует определённому разряду: наружное кольцо – первому разряду, следующее кольцо – второму разряду и т. д.

Аналоговые датчики, работающие в основном на принципе электромагнитной индукции, имеют на выходе сигнал в виде какого-либо физического аналога, например, величину напряжения или фазовый сдвиг по отношению к опорному сигналу.

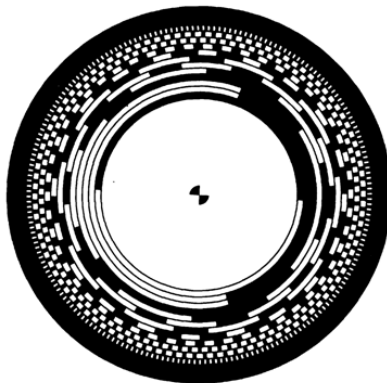


Рисунок 4 - Пример диска кругового кодового датчика

5. Схема работы датчика типа «вращающийся трансформатор» представлена на рисунке

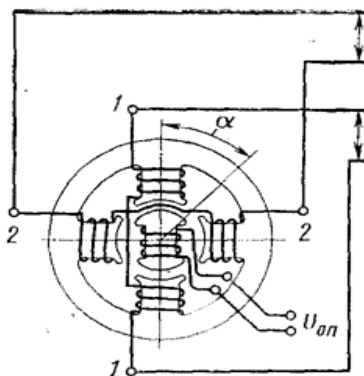


Рисунок 5 – Схема работы датчик типа «вращающийся трансформатор»

«Вращающийся трансформатор» состоит из статора и ротора. При подаче на обмотку ротора (или статора) переменного напряжения $e_0 = U_0 \cdot \sin(\omega t)$ на одной из обмоток статора (или ротора) индуцируется переменное напряжение $e_1 = U_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\omega t)$, где α — угловое положение ротора. На второй обмотке индуцируется $e_2 = U_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\omega t)$. После сложения этих двух сигналов на цепочке RC , параметры которой подбираются из условия $\omega RC = 1$, получается выходной сигнал $U_{вых} = U_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ который, как видно, равен по амплитуде входному сигналу, но сдвинут по фазе относительно него на угол α , который представляет собой фактическое положение рабочего органа станка. Для получения высокой точности позиционирования цену оборота фазы в таких датчиках часто выбирают в пределах 1 мм.

Среди аналоговых датчиков наибольшую точность позиционирования можно получить, используя датчики типа «Индукосин», работающие в амплитудном режиме. Общий вид линейного датчика такого типа представлен на рисунке 6, диск кругового датчика представлен на рисунке 6.

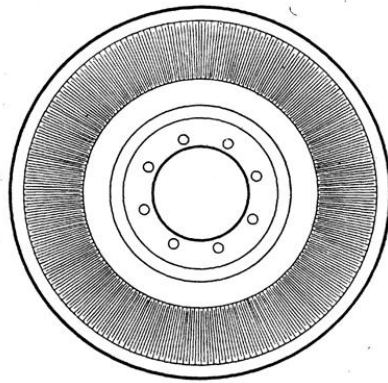


Рисунок 6 – Диск кругового датчика типа «Индуктосин»

Принцип работы датчика обратной связи типа «Индуктосин» представлен на рисунке 7. Ползунок датчика имеет две печатные обмотки, сдвинутые геометрически, а, следовательно, и электрически на 1/4 шага, т. е. на 90°. На каждую из обмоток подается синусоидальный сигнал одинаковой частоты (10 кГц), причем на первой обмотке имеется $e_1 = U_0 \cdot \cos(\alpha_e)$, а на второй $e_2 = U_0 \cdot \sin(\alpha_e)$, где α_e - заданный угол смещения (отражающий заданную величину перемещения). На шкале индуцируется напряжение, равное: $U_{вых} = U_0 \cdot \sin(\alpha_e) \cdot \cos(\alpha_m) - U_0 \cdot \cos(\alpha_e) \cdot \sin(\alpha_m)$, где α_m —фактический угол, отражающий фактическое перемещение рабочего органа станка. Следовательно: $U_{вых} = U_0 \cdot \sin(\alpha_e - \alpha_m)$.

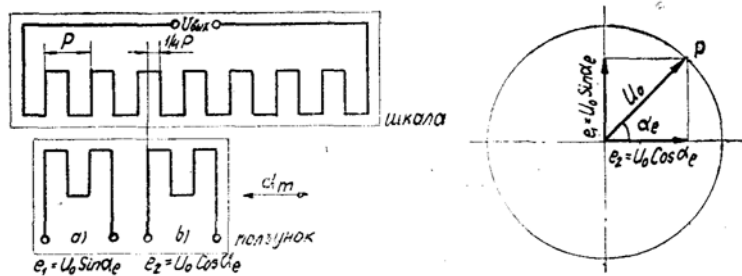


Рисунок 7 - Принцип работы датчика обратной связи типа «Индуктосин».

Таким образом, на привод поступает сигнал на перемещение всякий раз, когда есть разница в этих углах. При фактическом положении, равном заданному, когда $\alpha_e = \alpha_m$, напряжение на выходе равно нулю. Точность позиционирования рабочих органов станка при использовании «Индуктосина» может лежать в пределах $\pm 0,005$ — $\pm 0,01$ мм.

Широкое применение находят линейные фотоэлектрические датчики. В датчике (рисунок 8) шкала (линейка) 1 и ползунок 2, выполненные из стекла и имеющие одинаковый шаг штрихов, накладываются друг на друга с небольшим зазором.

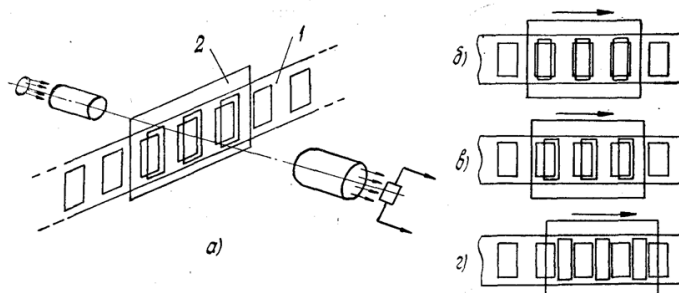


Рисунок 8 - Линейный фотоэлектрический датчик:

- а) принцип действия; б) положение, соответствующее максимальной освещенности; в) среднее положение; г) положение, соответствующее минимальной освещенности.

При смещении этих двух частей относительно друг друга, освещенность фотодиода за счет явлений, происходящих в дифракционных решетках, будет периодически меняться от максимальной величины до минимальной величины и опять до максимальной. Формируя в электронной схеме импульсы, соответствующие моменту максимальной освещенности, получают информацию о величине перемещения. Так как в работе одновременно участвуют несколько штрихов, погрешности нарезки каждого штриха усредняются, а точность измерения значительно повышается.

Литература

1. <http://naladchik-stankov.ru/glava-iv-elektrooborudovanie-avtomatika-stankov-chpu/datchiki-obratnoi-svyazi>
2. <http://delta-grup.ru/bibliot/35/26.htm>
3. <http://www.sensor-com.ru/catalog/inductive/use?yclid=2866223477728479559>

УДК 621.01/03

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

Брюханов И. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Самым распространённым способом сварки является дуговая сварка (способ при котором для нагрева и расплавления металла используют электрическую дугу). Основное оборудование, применяемое для дуговой сварки – источники питания сварочного тока.

Электрический источник питания снабжает сварочную дугу электрической энергией необходимых параметров. При дуговой сварке применяются токи от 1 до 3000 А при напряжении 40 - 141 В. Сварка может выполняться на постоянном и переменном токе, как при непрерывной, так и при импульсной подаче энергии.

К источнику питания предъявляются требования, связанные с особенностью дуги как нагрузки источника и её функциями как средства осуществления тех или иных видов дуговой сварки:

- обеспечить надёжные начальное и повторные зажигания дуги, её горение и стабильный процесс сварки, хорошее формирование сварочного шва.
- способствовать благоприятному переносу электродного металла, наименьшим потерям его вследствие разбрызгивания и угара.
- настройка источника на заданный режим работы должна производиться легко и просто.

В зависимости от вида сварки, свариваемых металлов, требований к качеству сварного шва применяют самые различные источники питания (сварочные трансформаторы, выпрямители, преобразователи и другие).

1) Сварочный трансформатор - это устройство, преобразующее переменное напряжение входной сети в переменное напряжение для электросварки. Основным его узлом является силовой трансформатор, с помощью которого сетевое напряжение снижается до напряжения холостого хода (вторичное напряжение), составляющего обычно 50-60 В. Для ограничения тока короткого замыкания и устойчивого горения дуги трансформатор должен иметь круто падающую вольтамперную характеристику. Для этого либо используют трансформаторы с увеличенным рассеянием, вследствие чего сопротивление при коротком замыкании оказывается у них в несколько раз больше, чем у обычных силовых трансформаторов, либо в цепь с трансформатором с нормальным рассеянием включают реактивную катушку с большим индуктивным сопротивлением – дроссель (дроссель может быть включён не в цепь вторичной обмотки, а в цепь первичной, где меньше ток).

Достоинства такого источника питания: сравнительно высокий КПД (70 – 90%); простота эксплуатации и ремонта; надёжность и дешевизна.

Недостатки: низкая стабильность горения дуги, обусловленная свойствами переменного тока; для качественной сварки необходимо использовать специальные электроды, предназначенные для работы при переменном токе; отрицательное влияние на стабильность горения дуги оказывают колебания входного напряжения; нельзя варить нержавеющей сталь, и цветные металлы (так как этот процесс требует использования постоянного тока); сильная "просадка" напряжения в сети при сварке.

2) Сварочные выпрямители - это аппараты, преобразующие переменное напряжение сети в постоянное напряжение электросварки. Они, как правило, состоят из силового трансформатора, выпрямительного блока, пускорегулирующей, измерительной и защитной аппаратуры. Существует множество схем построения сварочных выпрямителей с различными механизмами формирования внешней вольтамперной характеристики выпрямителей: изменение параметров самого трансформатора (подвижные катушки и секционированные обмотки, магнитные шунты), использование дросселя, фазное регулирование с помощью тиристоров и транзисторов.

К достоинствам сварочных выпрямителей относятся: надежность зажигания и устойчивость горения сварочной дуги и, как следствие, более качественный шов; возможность варить нержавеющую сталь, и цветные металлы;

Недостатки: относительно большой вес аппаратов; потеря части мощности; сильная "просадка" напряжения в сети при сварке.

3) Сварочный преобразователь — это электрическая машина, состоящая из приводного электродвигателя и генератора, который обеспечивает выработку тока (до 500А и более).

Все рабочие узлы сварочного преобразователя, в том числе и пускорегулирующая аппаратура, монтируются в одном едином корпусе. При этом существуют передвижные сварочные преобразователи и агрегаты, а также стационарные посты. Первые, в основном применяют при выполнении монтажно-строительных работ, вторые, в заводских условиях.

Преимущества преобразователей перед трансформаторами и выпрямителями заключается в том, что он вырабатывает сварочный ток, который практически не зависит от перепадов питающего напряжения. Поэтому его применение целесообразно для выполнения сварочных работ, к которым предъявляются высокие требования по качеству.

Недостаток: КПД и надёжность несколько ниже, чем у трансформаторов и выпрямителей, так как устройство сварочного преобразователя включает в себя вращающиеся детали.

4) Сварочный агрегат состоит из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока, в нём для получения сварочного тока используется химическая энергия сгорания топлива. Механическая энергия, полученная за счёт вращения коленчатого вала двигателя, преобразуется генератором в электрический ток посредством выпрямителя. Показатели выпрямителя, в свою очередь, отвечают за стабильность горения сварочной дуги.

К достоинствам сварочного агрегата относятся: возможность использования при отсутствии централизованного электрического снабжения; высокое качество сварки.

Недостатки: значительные габариты; большая масса; сложность использования.

Литература:

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др.-М.: Машиностроение. М38 Оборудование для сварки. Т. IV-6/ В. К. Лебедев, С. И. Кучук-Яценко, А. И. Четверо и др.; Под ред. Б. Е. Патона. 1999. — 496 с., ил.

2. <http://steelguide.ru/svarka/svarochnoe-oborudovanie/preobrazovatel-dlya-svarki-ustrojstvo-i-osobnosti.html>

3. <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/book/b200907/>

4. <http://tool-land.ru/typy-svarochnykh-apparatov.php>

5. <http://www.osvarke.com/vypryamitel.html>

6. <http://goodsvarka.ru/oborudovanie-i-materiali/vidj-apparatov/>

УДК 621.3+620.92

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ И ИНВЕРТОРОВ В СИСТЕМЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Серов Н.В., Царик Е.В., Филев А.В.

Научные руководители – старшие преподаватели Михальцевич Г.А., Пекарчик О.А.

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) – полупроводниковые устройства, прямо преобразующие солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Неоднородность структуры ФЭП может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями (создание p-n переходов) или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны – энергии отрыва электрона из атома (создание гетеропереходов), или же за счёт изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещённой зоны (создание варизонных структур). Возможны также различные комбинации перечисленных способов.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Основные необратимые потери энергии в ФЭП связаны с:

- отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя,
- прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём,
- рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов, рекомбинацией образовавшихся фото-пар, на поверхностях и в объёме ФЭП,
- внутренним сопротивлением преобразователя.

Комплекс требований к ФЭП, используемых на солнечных электроустановках:

- высокая надёжность при длительном (до 25–30 лет) ресурсе работы;
- высокая доступность сырья и возможность организации массового производства;
- приемлемые с точки зрения сроков окупаемости затрат на создание системы преобразования;
- минимальные расходы энергии и массы, связанные с управлением системой преобразования и передачи энергии (космос), включая ориентацию и стабилизацию станции в целом;
- удобство техобслуживания.

Солнечная батарея состоит из несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Для достижения наибольшей эффективности фотоэлектрической панели требуется правильный подбор сопротивления нагрузки. Для этого фотоэлектрические панели не подключают напрямую к нагрузке, а используют контроллер управления фотоэлектрическими системами, обеспечивающий оптимальный режим работы панелей.

Источник бесперебойного питания, (ИБП) (англ. Uninterruptible Power Supply, UPS) – автоматическое электронное устройство с аккумуляторной батареей, предназначенное для бесперебойного кратковременного снабжения электрической энергией в случае резкого падения или отсутствия входного питающего напряжения.

Основной задачей источника бесперебойного питания является генерирование на его выходе чистого синусоидального напряжения стабильной амплитуды и частоты при любых

отклонениях напряжения в питающей электросети. Отсюда следует, что любой источник бесперебойного питания должен содержать генератор синусоидального напряжения (часто выполненный в виде инвертора). Инвертор – устройство, которое преобразует род напряжения: из постоянного в переменное (аналогично – переменное в постоянное).

От того, какими характеристиками он обладает, во многом зависит качество самого ИБП.

Инвертор, в свою очередь, должен иметь как минимум два источника энергии для обеспечения непрерывной работы ИБП:

- а) непосредственно питающая электросеть,
- б) аккумуляторные батареи, энергия которых используется, когда напряжение в электросети недостаточно для нормальной работы инвертора (например, при полном его отсутствии).

Все источники бесперебойного питания делятся на 3 типа:

1. *Off-line* ИБП – это наиболее простые и дешевые источники бесперебойного питания. При нормальном напряжении в электросети ИБП передает его через несложный фильтр в нагрузку, инвертор при этом выключен. При пропадании напряжения или отклонении его параметров от нормы запускается инвертор, который преобразует энергию батарей в переменное напряжения, необходимое для питания нагрузки.

2. *Line-interactive* ИБП – это усовершенствованный *off-line* ИБП. В нем устанавливаются более мощные фильтры, и добавляется регулятор (стабилизатор) выходного напряжения (выполненный обычно из трансформатора с дополнительными отводами, которые коммутируются с помощью реле).

3. *On-line* ИБП – это ИБП, использующий принцип двойного преобразования энергии для защиты оборудования. В таком ИБП при нормальном режиме работы (*on-line* - режим) отсутствует непосредственная передача входного напряжения на выход. Входное напряжение претерпевает двойное преобразование (*double conversion*). ИБП *on-line* типа обеспечивают наивысшую степень защиты оборудования, поскольку вырабатывают стабильное непрерывное синусоидальное выходное напряжение, не зависящее от колебаний напряжения в питающей электросети.

В *on-line* ИБП инвертор работает непрерывно, и поэтому эти ИБП обладают некоторыми недостатками по сравнению с *line-interactive* ИБП:

1. Повышенное тепловыделение, или более низкий коэффициент полезного действия (КПД).

2. Увеличенные массогабаритные показатели.

Постоянно работающий инвертор требует использования более мощной системы охлаждения (состоящей, как правило, из вентиляторов и радиаторов), что и приводит к увеличению размеров всего ИБП.

3. Большой шум, создаваемый работой инвертора и системой его охлаждения.

Составные части ИБП:

Режим байпас (англ. *Bypass*, «обход») – питание нагрузки отфильтрованным напряжением электросети в обход основной схемы ИБП. Переключение в режим *Bypass* выполняется автоматически или вручную.

«Бустер» (англ. *booster*) – ступенчатый автоматический регулятор напряжения (англ. *Automatic Voltage Regulation, AVR*), имеющий автотрансформатор в своей основе. Он используется в ИБП, работающих по интерактивной схеме.

Кроме «самостоятельных» приложений, где инвертор выступает в качестве источника питания потребителей переменного тока, широкое развитие получили технологии преобразования энергии, где инвертор является промежуточным звеном в цепочке преобразователей. Принципиальной особенностью инверторов напряжения для таких приложений является высокая частота преобразования (десятки-сотни килогерц). Для эффективного преобразования энергии на высокой частоте требуется более совершенная

элементная база (полупроводниковые ключи, магнитные материалы, специализированные контроллеры).

Устройство потенциального инвертора направлено на преобразование высокого уровня входного напряжения в низкий уровень, и наоборот. В свою очередь, импульсные инверторы в момент подачи сигнала на вход, преобразуют его в выходной сигнал противоположной полярности. Либо в момент подачи импульсов тактирующей серии на выходе появляется сигнал только при отсутствии сигнала на входе.

Инвертор для сварки состоит из нескольких основных блоков аппарата:

- входной выпрямитель: преобразует входной ток из переменного в постоянный;
- преобразователь постоянного тока в переменный с частотой до десятков-сотен кГц;
- силовой трансформатор: повышает величину тока до значений, необходимых для расплавления металла;
- выходной выпрямитель: преобразует переменный ток большой величины в постоянный;
- плата управления: контролирует работу всех элементов и обеспечивает выполнение ряда дополнительных функций.

В классификации инверторов можно выделить такие типы, как:

- Бытовые аппараты. Режим работы, на который рассчитаны эти устройства, называется кратковременным. Это означает, что после 15 минут работы аппарату нужен будет перерыв продолжительностью около часа.

- Профессиональные аппараты. Эти устройства способны работать так называемый продолжительный режим работы. Их можно эксплуатировать непрерывно в течение одной рабочей смены (8 часов), после чего их придется оставить в покое примерно на такой же срок.

- Промышленные аппараты. Выносливость этих инверторов позволяет эксплуатировать их круглые сутки с небольшими перерывами. Аппараты данной разновидности могут участвовать в выполнении ремонтных и производственных работ в цехах крупных предприятий.

УДК 534.843.242

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА РЕВЕРБЕРАТОРОВ

Демиденко А. С., Хлиманкова О. О.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г. А.

Процессоры пространственной обработки сигналов – ревербераторы – являются неотъемлемой частью любой современной студии и концертного зала.

Получить нужные звучания путем моделирования, простого копирования или синтеза характеристик, не существующих в реальности помещений, стало возможно практически в любом месте. На этом пути ревербераторы были самым первым и естественным шагом.

Для того чтобы полнее разобраться в этом эффекте, вспомним каким образом создается реверберация в реальных помещениях и из каких основных частей состоит собственно реверберационный процесс.

Сущность реверберации состоит в том, что исходный звуковой сигнал смешивается со своими копиями, задержанными относительно него на различные интервалы времени.

Примерная схема расположения источника сигнала и слушателя изображена на рис. 1.

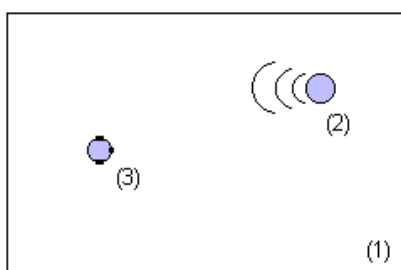


Рисунок 1. Примерная схема расположения источника сигнала и слушателя

При подаче короткого звукового импульса в точке прослушивания будет наблюдаться картина, изображенная на рис. 2:

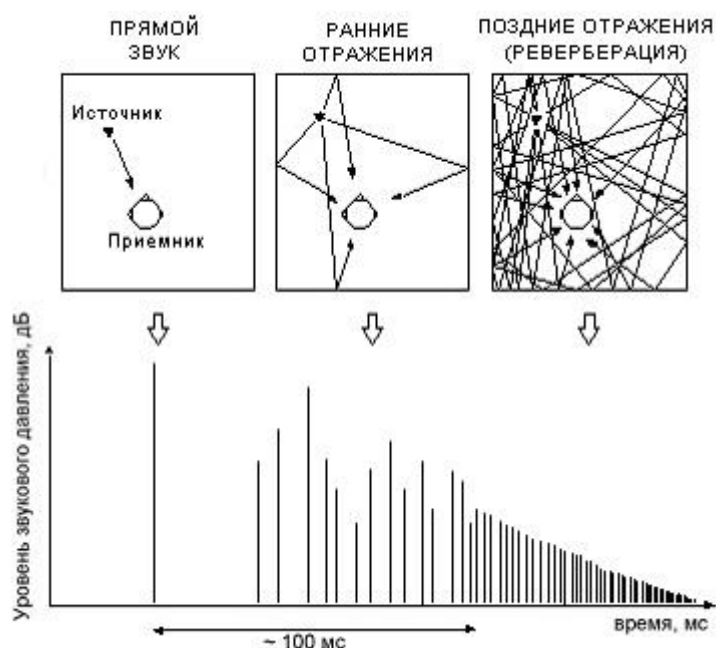


Рисунок 2. Эхограмма приемника, отображающая прямой звук, ранние отражения и реверберация

Эффект реверберации зависит от того, каковы временные промежутки между копиями сигналов и какова скорость уменьшения уровней их громкости. Если промежутки между копиями малы (до 60 мс) то получается собственно эффект реверберации. Возникает ощущение объемного гулкового помещения. Звуки музыкальных инструментов становятся сочными, объемными, с богатым тембровым составом. Голоса певцов приобретают напевность, а недостатки, присущие им, становятся малозаметными.

Если промежутки между копиями велики (более 100 мс), то правильнее говорить не об эффекте реверберации, а об эффекте "эхо". Интервалы между соответствующими звуками при этом становятся различимыми.

Рассмотрим, как развивались системы искусственной реверберации.

Исторически первыми (в 1930-х гг) "искусственными ревербераторами" были *эхо-камеры («Echo chamber»)*, в роли которых обычно выступали коридоры в подвалах, например, как изображенные на рис. 3.



Рисунок 3. Эхо-камера (реверберационная комната)

Эхо-камера представляет собой комнату с отражающими стенами, в которую помещен источник звукового сигнала (громкоговоритель) и приемник (микрофон). Меняя положение громкоговорителя и микрофона, можно получить небольшие вариации в записанном звуке.

Достоинства: затухание звука происходит в ней естественным путем.

Недостатки: практически невозможное изменение параметров звука, искажения спектра сигнала в области средних частот из-за собственных резонансов, громоздкость системы.

В попытках преодолеть эти трудности была создана первая электронно-механическая система – пружинный ревербератор («*Spring reverb*»), например, как изображенный на рис. 4. Он стал применяться в середине 60-х годов XX века.



Рисунок 4. Внешний вид пружинного ревербератора

Его устройство сходно с эхо-комнатой (на одном конце электромеханический преобразователь, на другом конце – пьезоэлектрический), только средой распространения волн вместо воздуха служит пружина.

Достоинства: компактность, простота.

Недостатки: пружина воспринимает любые колебания воздуха и пола, между акустической системой и пружиной существует практически неустраняемая обратная связь, звук имеет ярко выраженную "металлическую" окраску.

Следом появились другие электромеханические устройства – листовые (пластинчатые) ревербераторы («*Plate reverb*»), изображенный на рис. 5. Пружина была заменена большой пластиной из листового металла.



Рисунок 5. Внешний вид листового (пластинчатого) ревербератора

Звукосниматель ревербератора фиксирует колебания, которые появляются по всей пластине, а результат выводится в виде звукового сигнала.

Достоинства: более правдоподобный звук, чем у пружинного ревербератора.

Недостатки: при подаче сложного и высокоуровневого сигнала дают заметные искажения, громоздкость системы.

Ленточный (магнитофонный) ревербератор («*Tape reverb*») в 70х-80х годах стал первым «чисто электронным» ревербератором. Принцип действия: сигнал подается на записывающую головку, а затем считывается воспроизводящими головками с различными уровнями выходного сигнала (чтобы обеспечить эффект затухания). После считывания пленки все сигналы с воспроизводящих головок смешиваются и подаются на выход ревербератора. Для работы такого ревербератора необходима большая скорость движения ленты, иначе вместо реверберации мы получим эффект эха.



Рисунок 6 – Современный ленточный ревербератор BOSS RE20 Space Echo

В цифровых ревербераторах («*Digital reverb*») обычно заложено несколько типов алгоритмов обработки сигналов, обычно это эмуляция различных комнат и «железных» ревербераторов (ленточных, листовых, пружинных), и, естественно, есть возможность менять параметры каждого алгоритма и смешивать различные алгоритмы (рис. 7). Все это делает цифровой ревербератор чрезвычайно мощным и гибким инструментом, причем очень компактным.



Рисунок 7. Пример цифрового ревербератора

Самыми современными являются импульсные (конволюционные, свёрточные) ревербераторы (рис. 8). Свёрточный ревербератор смешивает в себе входящий сигнал с другим типом звукового сигнала, называемого импульсной характеристикой. Основная цель – моделирование реального помещения, а именно точное повторение реверберации определённой комнаты или устройства.

Преимущества: импульсы часто снимаются с дорогих аналоговых ревербераторов. Такой импульс способен очень точно моделировать этот ревербератор без необходимости его покупки.

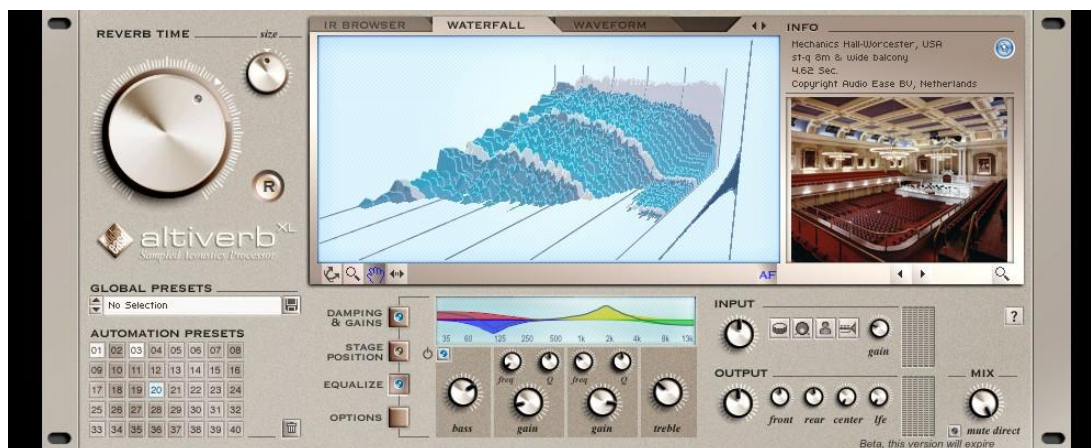


Рисунок 8. Пример импульсного ревербератора – программа Altiverb

Литература

1. Как это работает: реверберация [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://saturdayjam.livejournal.com/2982.html>. – Дата доступа: 10. 04. 2016
2. О реверберации, ревербераторах. Процессоры пространственной обработки сигналов [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://mcstore.ru/o_reverberatsii_reverberatorah_protssessori_prostranstvennoj_obrabotki_signalov.htm. – Дата доступа: 05. 04. 2016

3. Профессиональная работа с реверберацией [Электронный ресурс] / — Режим доступа: <http://blog.letow.ru/articul/professionalnaya-rabota-s-reverberaciej.html> – Дата доступа: 04.04.2016
4. Развитие ревербераторов [Электронный ресурс] / — Режим доступа: <http://mydocx.ru/1-52028.html>. – Дата доступа: 07. 04. 2016
5. Реверберация [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <https://promodj.com/articles/243477/Reverberaciya>. – Дата доступа: 05. 04.2016

УДК 624.97

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Денисевич Т. А.

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

Рост мирового энергопотребления и неизбежное сокращение природных запасов углеводородного топлива существенно подняли интерес к использованию возобновляемых источников энергии.

Одной из бурно развивающейся отраслью энергетики является ветроэнергетика, которая специализируется на использовании кинетической энергии воздушных масс и преобразует ее в различные формы энергии: электрическую, механическую, тепловую.

Общий интерес в настоящее время представляет использование энергии ветра для обеспечения электрической и тепловой энергией частных домов и коттеджей. Эту задачу могут выполнять ветряные электростанции для индивидуального пользования [1].

Небольшие ветряные электростанции удобны тем, что для их установки не требуется особого места, достаточно просто монтируются, имеют небольшой срок окупаемости и стабильно вырабатывают электрическую энергию [2].

В настоящее время максимальный коэффициент использования ветра имеют ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения (такая конструкция используется почти в 99% всех действующих промышленных ветровых электростанциях). Предварительные расчеты показывают, что для изготовления ветрогенератора в домашних условиях наиболее оптимальной конструкцией является шестилопастный ветрогенератор с диаметром винта 2 м. При максимальной рабочей скорости ветра 7-8 м/с максимальная мощность выбранной конструкции ветроэлектростанции будет равна 240 Вт. Это соответствует частоте вращения ветроколеса 229 об/мин. При более сильном ветре работа ветрогенератора будет небезопасной и должна ограничиваться.

Наиболее важной частью ветрогенератора является сам генератор, который и определяет эффективность работы всей установки. Промышленностью выпускается большое количество генераторов переменного и постоянного тока. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее удачным по комплексу характеристик для домашней ветроустановки является генератор на постоянных магнитах. Достоинствами этого генератора являются высокая надежность и достаточная мощность, а из недостатков можно назвать только то, что его придется изготавливать самому.

Для изготовления генератора необходимо использовать самые мощные магниты, которые выпускает промышленность. Такими магнитами являются неодимовые (мощность 480 кДж/м³). Изготавливать генератор следует по трехфазной схеме. Это исключит вибрации, а показатель мощности ветряка будет иметь постоянное значение. Ветрогенератор, имеющий трехфазную систему, может быть более эффективным, чем однофазный.

В настоящее время считается, что применение ветрогенераторов в быту для обеспечения электричеством нецелесообразно из-за необходимости получения электроэнергии промышленного качества: напряжением 220 В и частотой 50 Гц. При использовании генератора постоянного тока требуется использование инвертора. Для обеспечения бесперебойной работы потребителей требуется использование аккумуляторов и дизельгенераторов. Все это приводит к значительному удорожанию получаемой энергии.

Поэтому, учитывая сказанное выше, экономически целесообразно получение с помощью ветрогенераторов не электрической энергии промышленного качества, а постоянного или переменного тока с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды.

Литература

1. <http://www.ekopower.ru/chto-nuzhno-znat-o-vetroenergetike/>
2. <http://vopros-remont.ru/elektrika/samodelnyj-vetryak/>

СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ДОМА «ПАССИВНЫЙ» ДОМ

Лойкуц Е.А., Сташкевич О.С.

Научный руководитель - к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

АНАЛИЗ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Лихачевская А. А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В. Н.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ НА ПРИМЕРЕ ПАРКА «БЕЛБИОГРАД»

Лапшина Т.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ МЕСТНЫХ, ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Данильчук В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

ПЛАНИРОВАНИЕ И КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ОКАЗАНИЕ УСЛУГ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Левковская В.А.

Научный руководитель - к. э. н., доцент Манцера Т.Ф.

ЗАВИСИМОСТЬ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ЧИСЛА ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Винникова А.И.

Научный руководитель – доцент Нагорнов В.Н.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Девялтовская Л.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Марков А.Н.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

ПРИВАТИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЕЁ ПРОБЛЕМЫ

Иванович А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ОСВОЕНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Лапшина Т.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ ТОПЛИВА

Олешко И.С.

Научный руководитель - к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Пусь А.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

ПОТЕНЦИАЛ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Шумский А.Н., Елисеева А. И.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

РАЗВИТИЕ ХОЛДИНГОВЫХ СТРУКТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Шавлис А.К.

Научный руководитель — старший преподаватель Кравчук Е.А.

РАЗВИТИЕ МАЛОГО БИЗНЕСА И СТИМУЛИРОВАНИЕ ДЕЛОВОЙ АКТИВНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Матвейчук Д.Н., Михно Н.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Цвирко А.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ “ЗЕЛеной” ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Чигак С.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОАКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ

Хвесько А.Д.

Научный руководитель - к. э. н., доцент Нагорнов В.Н.

УЧЁТ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Наумович А.С.

Научный руководитель – к. э. н., доцент Манцера Т.Ф.

МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Шмакова А.Ю.

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

УДК 620.92

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ДОМА «ПАССИВНЫЙ» ДОМ

Лойкуц Е.А., Сташкевич О.С.

Научный руководитель - к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Концепция "пассивного" дома - один из самых значительных прорывов в строительстве. Такой дом не зависит от внешних источников энергии. Это становится возможным благодаря рациональному использованию источников тепла и энергии самого дома и окружающей его территории.

Основные направления развития зданий с нулевым энергопотреблением:

- ✓ Снижение потребления тепловых ресурсов.
- ✓ Полное или частичное удовлетворение электроэнергией.
- ✓ Создания более совершенной вентиляции и теплоизоляции.
- ✓ Снижения потребления воды.

В современные энергоэффективные дома подразделяют:

Пассивный дом

Дом с нулевым энергопотреблением

Энергогенерирующий дом

Вращающийся "солнечный" дом

3-Liter-Haus.

В принципе, строительство пассивного дома возможно везде. Важно, однако, строгое соблюдение некоторых требований. Мы различаем эти требования на микро- и макроусловия.

Микроусловия (технические требования)

1. Теплоизоляция

- строительные конструкции с максимально повышенной теплоизоляцией (коэффициент теплопередачи не более $0,15 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, стремится к идеалу $0,10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$!);
- стыковые и переходные соединения без утечки тепла: правильный расчет либо абсолютно герметичное выполнение.

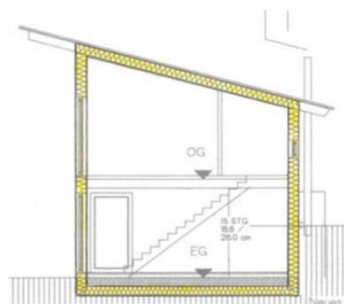


Рисунок 1. Теплоизоляция

Желтым выделен изоляционный слой, OG – второй этаж, EG – первый этаж.

2. Герметичность

- создание ограждающей герметичной оболочки;
- обеспечение герметичности всех стыковых и переходных соединений и пересечений;
- проведение в процессе строительства испытания на герметичность здания, $n_{50} = 0,6$

$V_{\text{общ}}/\text{час}$;

- координация отдельных субподрядных работ с целью обеспечения качества.

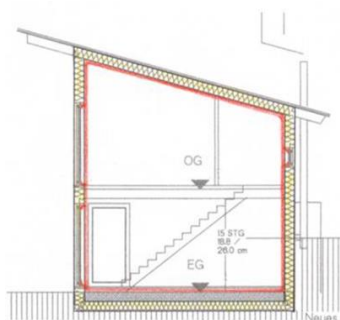


Рисунок .2 Герметичность

Красным выделен слой, обеспечивающий герметичность OG – второй этаж, EG – первый этаж.

3. Контролируемая вентиляция

- механический способ вентиляции;
- рекуперация тепла: устанавливать соответствующие устройства вблизи термооболочки здания, степень рекуперации не ниже 75%;
- при необходимости - дополнительная теплоизоляция центрального прибора и подогревающего элемента;
- «комфортная» вентиляция: управляется пользователем;
- как альтернативный вариант - установка земляного теплообменника.

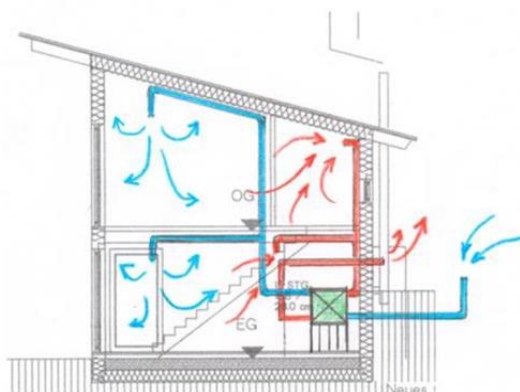


Рисунок 3. Контроль вентиляции

Голубым выделен приток воздуха, красным – вывод OG – второй этаж, EG – первый этаж.

4. Окна

- квалифицированная установка оконных конструкций;
- применение тройного остекления и суперизолирующих оконных.

Итак, одним из решающих факторов в строительстве пассивного дома является квалифицированное выполнение всех вышеперечисленных технических требований. Качественная реализация проекта согласно намеченному плану зависит от сплоченной работы и правильного понимания поставленных задач каждым отдельным звеном строительного процесса: строительной фирмой, специалистами по дереву, по электрике, сантехнике, вентиляции и т.д.

Макро- или внешние условия:

1. Расположение и направление здания

- южное направление основного фасада (допустимое отклонение +/-30°) и большие оконные проемы, направленные на юг;
- отсутствие затененных участков с целью обеспечения пассивного накопления солнечной энергии;
- растительность, не дающая тень.

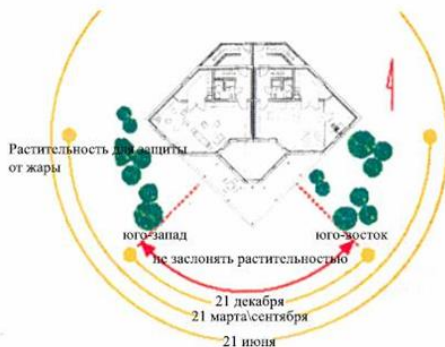


Рисунок 4. Расположение и направление здания

2. Компактность формы сооружения

- учесть фактор площади ограждающей поверхности здания (по возможности без выступающих конструкций);
- компактные формы здания, использовать возможность пристройки.

Вид	План	В разрезе	A/V
Одноквартирный дом / коттедж	1		0.98
	2		0.6
Двухквартирный жилой дом			0.6
Дом рядовой застройки			0.4
Многоквартирный дом			0.24

Рисунок 5. Компактность сооружения

В Пассивном доме отпадают затраты: на разводку водяного отопления и установки котельного оборудования, на подключение газа, емкостей для хранения топлива, расходов на чистку труб и фитингов. Стоимость же электроконвекторов, системы вентиляции и дополнительного утепления практически ниже стоимости классического отопления. А отказ от сетей газа и теплоцентралей несет в себе возможность значительно сократить себестоимость строительства.

Уникальность Пассивного дома в том, что его можно построить в "чистом" поле без использования сетей газа и теплоцентралей. Нужна только вода и электроэнергия в обычном размере 10 кВт на дом или квартиру. Этого вполне достаточно для приготовления пищи, отопления, кондиционирования, вентиляции, горячей и холодной воды. В пассивных домах часто используют альтернативные источники холодного и горячего водоснабжения. Для этого обычно используют тепловые насосы, а также солнечные водонагреватели. Первым "пассивным" домом стало здание Учебного Центра по изучению окружающей среды (Огайо, США). Причем проект постоянно совершенствуется - разработчики рассчитывают к 2020 году довести здание до климатической нейтральности, то есть оно не будет нуждаться во внешних источниках энергии и воды. Таким образом, мы стали пред фактом возможной постройки полностью энергонезависимого дома нового поколения, надёжным в эксплуатации, долговечностью более 150 лет, внутриклиматическая среда в котором является лабораторией здоровья для человека.

УДК 338.5

АНАЛИЗ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Лихачевская А. А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В. Н.

Особенностью работы электроэнергетических систем является неразрывность процессов производства, передачи и потребления электроэнергии. В настоящее время весьма важной становится корректировка тарифной политики. Тарифы на энергию должны восполнить все затраты, связанные с производством и передачей энергии, а также планируемые отчисления и накопления. Однако в нашей стране на протяжении долгого времени энергетическая отрасль была убыточной: доля покрытия затрат стабильно снижалась до 2012 года как в электроэнергетике, так и в теплоэнергетике. Но начиная с 2013-го года можно отметить положительный эффект от изменения тарифной политики в стране: произошло увеличение доли покрытия затрат в электроэнергетике до 80%, и незначительное увеличение доли покрытия затрат в теплоэнергетике. Данное явление характеризуется повышением тарифов на электроэнергию и теплоэнергию. Несмотря на увеличение тарифов в бел.рублях тариф в долларах остаётся практически неизменным. Кроме этого себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии остаётся выше, чем установленный тариф. В 2015 году Беларусь оказалась в числе европейских стран с низкими тарифами на электроэнергию для населения. Ниже ценник был только в трех странах — Украине, Казахстане и России. Дороже всего электроэнергия обходилась жителям Дании, Германии и Италии.

Также в 2015 году Беларусь вошла в число стран, в которых больше всего выросли тарифы на электроэнергию — на 16%. Лидерами по удорожанию стала Молдова (рост на 34%), а также Латвия и Лихтенштейн (в обеих странах на 20%). На противоположном полюсе в прошлом году было население Албании, тарифы для которого уменьшились на 30%, а также Мальта и Кипр (снижение на 15%).

Интересным выглядит показатель «количество электроэнергии, доступное на среднемесячный чистый заработок жителя». По оценке "РИА Рейтинг", белорусы могут купить 6075 кВт/ч. Это меньше, чем может позволить себе среднестатистический житель Европы (6 888 кВт/ч). Тем не менее белорусы по покупательной способности в отношении электроэнергии опережали 12 стран, включая Литву (3 951 кВт/ч), Чехию (5 702 кВт/ч), Хорватию (5 400 кВт/ч), Польшу (4 394 кВт/ч), Турцию (4 341 кВт/ч), Латвию (3 306 кВт/ч) и Португалию (4 638 кВт/ч).

Россияне могли позволить купить по действовавшим тарифам 9796 кВт/ч, украинцы — 6487 кВт/ч, а больше всех возможностей было у жителей Норвегии — 23 856 кВт/ч.

Стоит заметить, что с 1 января 2016 года произошло повышение тарифов на 20%. Однако это практически не изменило место нашей страны ни по одной из позиций.

Наша страна всё так же находится в лидерах стран с самыми низкими тарифами на электроэнергию для населения. При этом тарифы для промышленности гораздо выше, чем для населения. Данная ситуация - это результат социальной политики правительства, характеризующаяся введением практики перекрестного субсидирования в энергетике. Принятие этой меры было актуальным и необходимым в середине 1990-ых годов, но сейчас оно утратило свою значимость, и, наоборот, усугубило положение энергетической отрасли. Необходимо производить уход от перекрестного субсидирования — одной из ключевых проблем в энергетике. В реальности себестоимость энергии для населения получается выше себестоимости энергии, потребляемой промышленностью. Поэтому в развитых странах мира тарифы для бытовых потребителей в 1,5..3 раза выше тарифа для промышленности. Это соответствует реальным затратам производителей энергии в любой стране мира. Поэтому для решения этой проблемы необходимо снизить тарифы на электроэнергию для промышленности и повысить для населения. Цена должна формироваться исходя из

следующих критериев: зоны нагрузки (пиковая/полупиковая/базовая); напряжения, при котором выдается э/э; расстояния от источника электроэнергии и теплоэнергии.

Перекрестное субсидирование в тарифах на электроэнергию планируют ликвидировать в Беларуси к 2020 году. Это следует из постановления Совмина от 1 марта 2016 года №169, которым утвержден комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской АЭС. Стоит сказать, что правительство несколько лет назад уже обозначало работу по снижению перекрестного субсидирования в экономике страны, когда население покрывает лишь незначительную часть стоимости энергоресурсов, а эти расходы ложатся на плечи промышленных предприятий, снижая тем самым конкурентоспособность их продукции.

Литература

1. Падалко, Л.П. Формирование современной тарифной политики на электрическую и тепловую энергию в Республике Беларусь / Л.П. Падалко, А.М. Заборовский // Экономический бюллетень НИИ Минэкономики РБ. - 2008.-№4-С. 41-54.
2. Цены и ценообразование: учебник для вузов; 3-е изд. / под ред. В.Е. Есипова. – СПб.: Питер. 2000. – 464 с.

УДК 334.726

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ НА ПРИМЕРЕ ПАРКА «БЕЛБИОГРАД»

Лапшина Т.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

Важным фактором повышения конкурентоспособности и увеличения экспортного потенциала национальной экономики является создание Национального научно-технологического парка «БелБиоград» - особой экономической зоны со специальным налоговым режимом, где будут сконцентрированы материальные, финансовые, научно-технические ресурсы для реализации и ускоренной коммерциализации крупных проектов в сфере био-и нанотехнологий, фармацевтики, микро- и наносистемной техники. Деятельность парка будет ориентирована на разработку и выпуск отечественной наукоемкой инновационной продукции.

В целях формирования конкурентного биотехнологического сектора экономики Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 года № 166 биотехнология отнесена к приоритетным направлениям научно-технической деятельности страны на 2016-2021 годы и поддержана рядом государственных и межгосударственных программ. В основу реализации проекта создания «БелБиограда» положен опыт научно-технологических парков и инновационных центров США, Германии, Японии, Италии, Китая и Индонезии, Сингапурского биотехнологического парка «Биополис», а также действующих в Беларуси Парка высоких технологий (ПВТ) и Китайско-Белорусского индустриального парка.

Планируется создание инфраструктуры поддержки инновационной деятельности, обеспечивающей осуществление полного инновационного цикла; корпоративной информационной системы, обеспечивающей взаимодействие между всеми участниками проекта и позволяющая проводить коммуникации в режиме реального времени; социальной инфраструктуры, обеспечивающей комфортные условия для проживания (жилой комплекс, зона отдыха, сервис и др.).

Предполагаемая общая площадь парка - 10,75 кв.км. Планируемая численность работников – 37,5 тыс. человек. Согласно предварительными расчетам на модернизацию и строительство административных, научных, производственных объектов, инженерной инфраструктуры в период с 2015 по 2021 год потребуется около 200 млн долларов США. Создание новых наукоемких предприятий и производств «БелБиограда» будет осуществляться в основном за счет прямых инвестиций. Строительство объектов социально-бытовой инфраструктуры будет осуществляться за счет внебюджетных средств Мингорисполкома. Расчётно общая сумма плановых инвестиций по проектам около 22,4 млн долларов США.

На всех стадиях реализации проекта его участникам гарантируется всесторонняя поддержка и содействие со стороны государства. Поэтому планируется, что «БелБиоград» будет представлять собой научно-технологическую платформу со специальным правовым режимом. Резиденты БелБиограда будут обладать особым правовым статусом, который предусматривает: освобождение от уплаты налога на добавленную стоимость, налога на прибыль, земельного налога, налога на недвижимость; освобождение от уплаты ввозных таможенных платежей на оборудование, сырье и материалы для использования исключительно на территории Республики Беларусь; упрощенный порядок для осуществления административных процедур.

В целях развития малого инновационного предпринимательства предусмотрено создание инкубатора малого предпринимательства «БелБиограда», который будет осуществлять взаимодействие работников высшей научной квалификации, специалистов научных предприятий Беларуси, а также ведущих зарубежных научно-технологических

центров с индивидуальными предпринимателями и субъектами малого бизнеса «БелБиограда».

Реализация проекта создания «БелБиограда» позволит обеспечить решение актуальных задач для национальной экономики: создание и развитие новых отраслей в Республике Беларусь (нано- и биоиндустрия, производство микро- и наносистемной техники); повышение инвестиционной привлекательности Республики Беларусь; наращивание экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции; ускоренное развитие высокотехнологичных видов экономической деятельности; создание новых высокопроизводительных рабочих мест; укрепление имиджа Республики Беларусь, как страны, открытой к инновациям. Привлекательность участия в проекте на территории Республики Беларусь дополняется также такими факторами, как выгодное географическое положение, близость европейских рынков сбыта. БелБиоград выступает в качестве плацдарма для экспансии на рынок Таможенного Союза и ЕС. Кроме того, ведущие научные организации РБ располагают рядом перспективных научных разработок в сфере фармацевтики, нано- и биотехнологий, которые могут быть коммерциализированы при наличии инвестиций и профессионального менеджмента. В целом, анализ научного, производственного и кадрового потенциала Беларуси позволяет сделать вывод благоприятных условий для ускоренного развития биотехнологической и фармацевтической отрасли экономики.

Литература

1. Министерство экономики Республики. URL: Беларусь <http://www.economy.gov.by>
2. «Эволюционные трансформации экономики Беларуси» Мясникович М.В. – Минск: Беларуская навука, 2016

УДК 662.6

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ МЕСТНЫХ, ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Данильчук В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

Разработка технологий, позволяющих применять различные виды биомассы в энергетических целях, - актуальная задача, как для рационального использования природных ресурсов, так и для создания автономных источников тепло- и электроснабжения, работающих на местных видах топлива. Наиболее привлекательным сырьем являются древесина и торф, которые относятся к возобновляемым углеводородным ресурсам.

Вопросы энергетической безопасности для страны вследствие низкой обеспеченности собственными энергетическими ресурсами 15-18% от общей потребности являются важнейшими факторами национальной и энергетической безопасности.

Развитие народного хозяйства государства должно также сопровождаться повышением эффективности использования энергии как в процессе потребления, так и производства.

При проведении региональной энергетической политики особое значение имеет оптимальное использование местных видов топлив, таких, как торф, древесина, в том числе отходы предприятий по ее добыче и переработке, которые на половину обеспечат снижение себестоимости энергии.

Главным источником энергии из биомассы являются отходы сельскохозяйственной и лесной отраслей, а также специальные насаждения (энергетические плантации). Так как растения сохраняют солнечную энергию в различных формах, то они могут использоваться для получения топлива.

Основными технологиями энергетического использования сухой биомассы являются сжигание, газификация, пиролиз, гидролиз и дистилляция, брикетирование и прессование, анаэробное сбраживание, а для влажной – сбраживание и дистилляцию.

Потенциальная энергия, содержащаяся в твердых бытовых отходах на территории республики равноценна 470 тыс. т.у.т. При их биопереработке с целью получения газа эффективность составит не более 20-25%, что эквивалентно 100-120 тыс. т.у.т.

В республике для получения жидкого и газообразного топлива можно применять периодически возобновляемый источник энергии фитомассу быстрорастущих растений и деревьев. Подсчитано, что в условиях республики с 1га энергетических плантаций можно получить до 10 т. сухого вещества, что эквивалентно 5 т.у.т. При дополнительных агроприемах продуктивность гектара фитомассы может быть увеличена в 2-3 раза. Из этого количества биомассы можно получить 7 т. жидких энергетических продуктов.

По оценке экспертов, транспортные расходы, связанные с доставкой топлива от месторождения до потребителя, достигают 70-80% от его стоимости. К тому же в ряде случаев топливо поставляется коммерческими структурами со вторичного рынка после многократных перепродаж. Все вышеописанное приводит к увеличению стоимости топлива для потребителей более чем в 1,5 – 2 раза.

Замена природного газа и мазута торфом и пеллетами, энергетическая ценность которых в 3 – 4 раза меньше, потребует существенную реконструкцию котельных, привлечение крупных инвестиций и вряд ли будет рентабельной. Однако для перевода котельных, работающих на твердом топливе (угле), на торф и пеллеты не понадобится большой объем работ по переналадке оборудования и значительные затраты.

Пеллетизация хорошо освоена во всем мире. Продукты пеллетизации – пеллеты – представляют собой прессованные цилиндры измельченной биомассы диаметром 5 – 10 мм и долиной 8 – 15 мм. С целью эффективного использования пеллет рекомендуется применить новые технологии сжигания их в кипящем и пульсирующих слоях, а также газифицировать с

целью создания мини-ПГУ. Основной недостаток пеллет – их гидрофильность (набухание при длительном хранении и перевозках).

Торрефикация – один из методов термохимической обработки твердого биотоплива, при котором гидрофильность пеллет устраняется путем низкотемпературного пиролиза при 250 – 280 °С. После торрефикации пеллеты становятся гидрофобными, увеличивается их теплота сгорания на единицу массы и объема.

Торф и пеллеты мало отличаются по своему энергетическому потенциалу и характеризуются примерно одинаковыми объемами предотвращенного экологического ущерба. Они вполне конкурентны углю по энергетическим характеристикам и гораздо доступнее его в плане поставок от места добычи до потребителя. Кроме того, перевод котельных с угля на торф или пеллеты не всегда требует большой реконструкции и существенных инвестиций. Их размеры могут быть оценены для каждой конкретной котельной, а в некоторых случаях такой перевод может и не потребовать каких-либо инвестиций. Поэтому топливные древесные гранулы и торф следует рассматривать как равнозначный стратегический ресурс при решении проблемы поиска доступного сырья в случае истощения запасов углеводородного топлива.

Литература

1. Бокун И.А., Темичев А.М. Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии / Бокун И.А., Темичев А.М. – Минск: 2004.
2. Энергетика и ТЭК №6, июнь 2015.
3. Бессмертных А. В., Зайченко В. М. Технологии нового поколения для распределенной энергетики России. – Промышленная энергетика №9, 2013.

УДК 621.165

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

Изменения экономических отношений в стране, с одной стороны, и на рынке энергоресурсов, с другой, ускорили понимание необходимости улучшения энергетических характеристик тепловых электростанций путём перехода к современным технологиям преобразования энергии. Появление надёжных и эффективных тепловых газовых двигателей обеспечило технические условия для реализации этого пути и модернизации существующих электрогенерирующих мощностей. Для энергосистемы, в которой основная генерация электроэнергии осуществляется тепловыми электростанциями (ТЭС), совершенствование преобразования тепловой энергии в механическую наиболее актуально. Как показывает практика, выполнение требований системного подхода при выборе вариантов модернизации ТЭС во многом определяет конечные результаты развития энергосистемы. Выбор сложный и ответственный, связанный с большими инвестициями, сопровождающийся не только необходимостью дальнейшего изменения структуры генерирующих мощностей энергосистемы, но и изменением методов управления их работой. При использовании газообразного топлива повышение эффективности ТЭС наиболее очевидно осуществлять с помощью перехода от паротурбинной технологии к парогазовой. При этом наибольший эффект достигается при модернизации теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Однако приходится сталкиваться с ситуацией, когда структура генерации энергопотоков ТЭЦ резко изменяется: доля электроэнергии возрастает в три-четыре раза для ТЭЦ высоких начальных параметров пара. Для мелких ТЭЦ с низкими начальными параметрами пара указанные изменения ещё более заметны. Изменение структуры потребления тепловой и электрической энергии, происходящее в промышленности, менее значимо и не всегда идёт в направлении, соответствующем приближению к структуре генерации энергосистемы, изменяющейся в результате модернизации ТЭЦ. В результате возможности энергосистемы в части регулирования генерации снижаются, поскольку традиционным регуляторам (конденсационные ТЭС) не остаётся нагрузки. Модернизированные ТЭЦ на существующем потреблении тепловой энергии генерируют избыточное количество электроэнергии, «перехватывая» нагрузку менее эффективных мощностей. Возникающий дефицит конденсационных мощностей обостряет проблему регулирования мощности в соответствии с графиком электропотребления. Решение данной задачи обеспечения графика нагрузок отличается разнообразием. В условиях, когда регулирование генерации невозможно без участия ТЭЦ, новую функцию последних необходимо учитывать при разработке альтернативных вариантов их модернизации, без чего системная эффективность проектов не будет достигнута в должной мере. Определение альтернативных вариантов модернизации упомянутых энергогенерирующих источников не столь однозначно и сложно по причине системного характера задачи, решения которой отличаются капиталоемкостью и не однозначностью [3, с. 12].

Альтернативным вариантом для решения задачи является внедрение на ТЭЦ парогазовой технологии путем либо нового строительства, либо ввода турбоустановок «старой» очереди в состав парогазовой установки (ПГУ). Как известно, ПГУ обладают существенными преимуществами как по сравнению с обычными паротурбинными (ПТУ), так и газотурбинными установками (ГТУ). В первую очередь, они позволяют обеспечить значительно более высокую экономичность, обусловленную высокой температурой газов на входе в ГТУ, и низкой температурой «холодного конца» ПТУ. Кроме того, ПГУ характеризуются значительно более низким уровнем вредных выбросов в атмосферу.

Существенным достоинством ПГУ являются меньшие капитальные затраты. Сравнительно малые габариты ГТУ делают реальным преобразование существующих паротурбинных энергоблоков в процессе их реконструкции в ПГУ путем надстройки ГТУ в пределах существующих конструкций. Ко всем перечисленным достоинствам ПГУ необходимо также добавить высокую маневренность, так как режим совместной работы ГТУ и ПТУ может меняться в широких пределах, что позволяет их использовать для несения переменной части графика нагрузок [1, с. 127].

Парогазовые установки практически не имеют недостатков, скорее, следует говорить об определенных ограничениях и требованиях к оборудованию и топливу. Существенным недостатком является то, что известные парогазовые установки обладают пониженной экономичностью, так как рабочим телом в турбокомпрессоре является атмосферный воздух, а в газовой турбине - смесь продуктов сгорания органического топлива с воздухом, которые имеют низкие теплофизические свойства. Низкие теплофизические свойства атмосферного воздуха обуславливают повышенный расход энергии на привод турбокомпрессора, а низкие теплофизические свойства смеси продуктов сгорания с воздухом не обеспечивают высокий располагаемый теплоперепад в газовой турбине, что снижает мощность и экономичность парогазовой установки электростанции.

Таким образом, для повышения мощности и экономичности парогазовой установки на электростанциях может быть использована следующая модернизация: в вытяжной башне градирни устанавливается перфорированный коллектор для забора воздуха и соединяется трубопроводом и с всасывающим коробом турбокомпрессора газотурбинной установки (рисунок 1). В этом случае в турбокомпрессор будет подаваться насыщенный водяными парами в вытяжной башне градирне и содержащий капельную влагу атмосферный воздух. Наличие в воздухе водяного пара и капельной влаги, имеющих лучшие теплофизические свойства по сравнению с атмосферным воздухом, позволяет уменьшить работу сжатия в турбокомпрессоре и одновременно повысить тепловую экономичность и удельную мощность газовой турбины. Уменьшение работы сжатия в турбокомпрессоре осуществляется за счет снижения температуры сжимаемого воздуха вследствие испарения капельной влаги, содержащейся во влажном воздухе, отводимом из вытяжной башни градирни. Увеличение удельной мощности газовой турбины обуславливается наличием в продуктах сгорания водяных паров, что приводит к повышению располагаемого теплоперепада в газовой турбине [2].

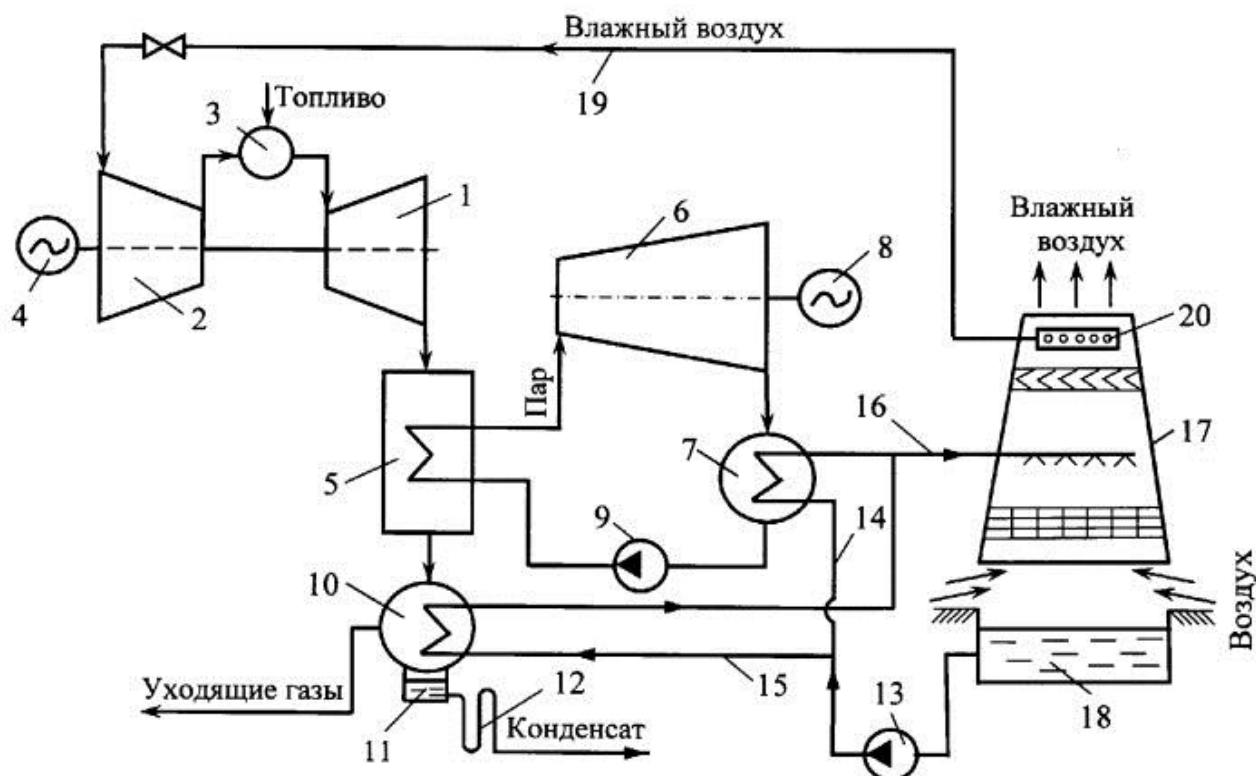


Рисунок. Модернизированная схема парогазовой установки электростанции

Парогазовая установка электростанции содержит газотурбинную установку, состоящую из: газовой турбины 1, турбокомпрессора 2, камеры сгорания 3 и электрогенератора 4, котла-утилизатора 5. Паротурбинную установку, состоящую из: паровой турбины 6 с конденсатором 7, электрического генератора 8 и питательного насоса 9, теплообменник-утилизатор 10 теплоты уходящих газов, снабженный конденсаторосборником 11 с гидрозатвором 12, систему обратного водоснабжения, включающую циркуляционный насос 13, напорный трубопровод 14 к конденсатору 7 паровой турбины 6, напорный трубопровод 15 к теплообменнику-утилизатору 10 теплоты уходящих газов и сливной напорный трубопровод 16 к градирне, состоящей из вытяжной башни 17 и водосборного бассейна 18, трубопровод 19, соединяющий всасывающий короб турбокомпрессора 2 с перфорированным коллектором 20, установленным в вытяжной башне 17 градирни.

Таким образом, технический результат состоит в повышении экономичности и удельной мощности парогазовой установки электростанции за счет уменьшения работы сжатия в турбокомпрессоре и повышения располагаемого теплорезерва в газовой турбине вследствие улучшения теплофизических свойств рабочего тела в турбокомпрессоре и в газовой турбине. Кроме того, подача в камеру сгорания газотурбинной установки увлажненного воздуха уменьшает концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания и количество вредных выбросов в атмосферу и увеличивает срок службы высоконапряженных элементов газотурбинной установки за счет снижения температуры газов в камере сгорания.

Экономический эффект в результате внедрения данного мероприятия достигается за счет снижения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии и меньшего расхода электроэнергии на сжатие воздуха в турбокомпрессоре за счет улучшенных теплофизических свойств рабочего тела.

Литература

1. Зысин, Л. В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции: учеб. пособие / Л. В. Зысин. – СПб.: Изд.-во Политехн. ун-та, 2010. – 368 с.
2. Парогазовая установка электростанции [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/237/2373403/>.

3. Романюк, В. Н. Выбор схем парогазовых установок при модернизации паротурбинных ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, Н. А. Коломыцкая // Энергия и менеджмент. – 2013. – № 3. – С. 11-15.

УДК 657.479 (075.8)

ПЛАНИРОВАНИЕ И КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ОКАЗАНИЕ УСЛУГ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Левковская В.А.

Научный руководитель - к. э. н., доцент Манцерова Т.Ф.

Планирование и калькулирование затрат на оказание услуг по электроснабжению и теплоснабжению РУП-облэнерго осуществляется на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии.

Полезный отпуск электрической и (или) тепловой энергии включает:

- 1) электрическую и (или) тепловую энергию, отпущенную потребителям (абонентам) в соответствии с заключенными с ними РУП-облэнерго договорами;
- 2) электрическую энергию, отпущенную на рынок перетоков для внутреннего потребления в Республике Беларусь.

Валовый отпуск электрической и (или) тепловой энергии включает:

- 1) полезный отпуск электрической и (или) тепловой энергии;
- 2) отпуск электрической и (или) тепловой энергии в пределах РУП-облэнерго на прочие виды экономической деятельности, в том числе непромышленные.

При планировании и калькулировании затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения должна быть обеспечена сопоставимость и единообразие данных в отношении состава и классификации затрат, калькуляционных единиц, методов калькулирования, группировки и распределения затрат с учетной политикой

РУП-облэнерго и методическими рекомендациями по учету затрат, утверждаемыми ГПО «Белэнерго» по согласованию с Министерством энергетики Республики Беларусь.

Планирование и калькулирование затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения осуществляется исходя из единого технологического процесса, включающего стадии производства, передачи, распределения и продажи электрической и тепловой энергии.

Объектом планирования и калькулирования затрат на услуги по электроснабжению и теплоснабжению являются:

- 1) для электрических станций – производство электрической и тепловой энергии (электрическая энергия, отпущенная с шин электрических станций, и тепловая энергия, отпущенная с коллекторов электрических станций);
- 2) для котельных – производство тепловой энергии (тепловая энергия, отпущенная с коллекторов котельных);
- 3) для электрических и тепловых сетей – передача и распределение электрической и тепловой энергии;

Планирование и калькулирование затрат на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии осуществляется на основе норм и нормативов расходования топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР) на электрических станциях, котельных, электрических и тепловых сетях, материальных и трудовых затрат.

При планировании затрат на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии используются составленные по плану на расчетный период:

- 1) расчет объемов полезного отпуска электрической энергии;
- 2) расчет объемов полезного отпуска тепловой энергии;
- 3) баланс электрической и тепловой энергии;
- 4) технико-экономические показатели производства электрической и тепловой энергии по энергоисточникам;
- 5) расчет расхода электрической энергии на производственные нужды энергосистемы;

- б) информация по блок-станциям, находящимся в параллельной работе с энергосистемой;
- 7) структура топлива на производство электрической и тепловой энергии;
- 8) расчет затрат на топливо на производство электрической и тепловой энергии;
- 9) расчет цены списания мазута на себестоимость электрической и тепловой энергии;
- 10) расчет затрат на покупную энергию;
- 11) расчет тарифа на электрическую энергию, передаваемую на рынок перетоков;
- 12) расчет затрат на покупную электрическую энергию от блок-станций;
- 13) расчет затрат на ТЭР на хозяйственные нужды со стороны;
- 14) расчет затрат на эксплуатационно-ремонтное обслуживание;
- 15) расчет затрат на воду;
- 16) расчет налоговых вычетов по налогу на добавленную стоимость по освобождаемым оборотам;
- 17) расчет затрат на оплату труда;
- 18) расчет амортизации основных средств и нематериальных активов;
- 19) расчет экологического налога;
- 20) расчет земельного налога;
- 21) расчет налога на недвижимость;
- 22) расчет других затрат;
- 23) другие необходимые расчеты, предусмотренные инструкцией о порядке планирования и калькулирования затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения республиканскими унитарными предприятиями электроэнергетики, входящими в состав государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго», а также иные расчеты, расшифровки и обоснования с учетом организационной структуры РУП-облэнерго и других факторов.

Исходными данными для планирования затрат на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии на расчетный период являются:

- 1) плановая структура полезного отпуска электрической и тепловой энергии;
- 2) плановый баланс электрической и тепловой энергии;
- 3) планируемые цены на топливо, в том числе на природный газ;
- 4) планируемые уровни тарифов на электрическую и тепловую энергию для потребителей Республики Беларусь;
- 5) планируемые ставки налогов и неналоговых платежей;
- 6) плановое соотношение курса доллара США к белорусскому рублю;
- 7) индексы потребительских цен, цен производителей промышленной продукции, цен на строительные-монтажные работы, темп роста номинальной заработной платы;
- 8) другие необходимые параметры.

Калькулирование затрат на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии производится исходя из особенностей энергетического производства по следующим статьям:

- 1) затраты на топливо на технологические цели;
- 2) затраты на воду на технологические цели;
- 3) затраты на оплату труда производственного персонала;
- 4) отчисления от оплаты труда производственного персонала;
- 5) общепроизводственные затраты;
- 6) затраты на подготовку и освоение производства;
- 7) затраты на покупную энергию;
- 8) налоговые вычеты по НДС по освобождаемым оборотам;
- 9) налоги и сборы в бюджет согласно законодательству;
- 10) управленческие расходы, относимые на стоимость полезного отпуска электрической и тепловой энергии.

Особенности планирования затрат на услуги по электроснабжению и теплоснабжению по стадиям производства, передачи и распределения электрической и тепловой энергии:

1) Производство, передача и распределение электрической и тепловой энергии осуществляется структурными подразделениями РУП-облэнерго;

2) Планирование затрат на производство электрической и тепловой энергии на электрических станциях осуществляется по технологическим стадиям производства электрической и тепловой энергии (стадиям последовательного преобразования одного вида энергии в другой). Количество стадий производства зависит от вида начального энергоносителя (твердое топливо, газ, гидроресурсы и др.) и производственной структуры.

3) На тепловых электрических станциях, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию, затраты группируются в зависимости от производственной структуры по следующим стадиям:

- топливно-транспортная стадия (цех, служба и т.п.);
- котельная (котлотурбинная) стадия (цех, служба и т.п.), включая подготовку химически очищенной воды, если она не выделена в самостоятельное структурное подразделение;
- химическая стадия (цех подготовки химически очищенной воды);
- теплофикационная стадия (отделение, бойлерная установка);
- электрическая стадия (цех и т.п.)

4) На гидроэлектростанциях затраты на производство электрической энергии планируются по технологическим стадиям, совпадающим с производственной структурой по цехам:

- гидротехническая стадия (цех);
- машинная стадия (турбинный цех);
- электрическая стадия (цех).

5) Затраты электрической станции на производство электрической и тепловой энергии распределяются между электрической и тепловой энергией в зависимости от участия того или иного структурного подразделения в производстве этих видов энергии:

- связанные с производством только одного вида энергии – относятся на производство соответствующего вида энергии (паровые, водогрейные котлы, бойлерные установки – на производство тепловой энергии, электрического цеха – на производство электрической энергии и т.д.);
- связанные с производством обоих видов энергии (топливно-транспортного подготовки химически очищенной воды, котлотурбинного и др.) – распределяются между электрической и тепловой энергией пропорционально условному топливу, израсходованному на производство каждого вида энергии.

6) В состав затрат на передачу и распределение электрической энергии в электрических сетях включаются затраты на содержание, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт воздушных и кабельных линий электропередачи, подстанций, трансформаторных и распределительных пунктов, синхронных компенсаторов, прочего оборудования и сооружений электрических сетей, а также затраты на содержание и эксплуатацию электрическими сетями устройств диспетчерского управления, защиты, автоматики, средств измерений и телемеханики и иные.

7) В состав затрат на передачу и распределение тепловой энергии в тепловых сетях включаются затраты на содержание, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт теплофикационных трубопроводов, бойлерных установок, каналов, смотровых колодцев, прочего оборудования и сооружений тепловых сетей, а также затраты на диспетчерское управление и эксплуатацию средств измерений и автоматики и т.п.

Литература

1. Инструкция о порядке планирования и калькулирования затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения республиканскими унитарными предприятиями электроэнергетики, входящими в состав государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго»

УДК 338.45

ЗАВИСИМОСТЬ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ЧИСЛА ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Винникова А.И.

Научный руководитель – доцент Нагорнов В.Н.

Электроэнергетика является структурой, которая создает необходимые условия для функционирования производительных сил и жизни населения, и обеспечивающую, в конечном итоге, электроэнергетическую безопасность Республики Беларусь. Основной особенностью работы электроэнергетических систем является неразрывность процессов производства, передачи и потребления электроэнергии. Непрерывность процесса электроснабжения потребителей возможна только при постоянстве баланса вырабатываемой и потребляемой энергии.

Понятие "перекрестное субсидирование" появилось в 90-е годы 20 века. Распад СССР вызвал экономический кризис, обусловленный разрывом производственных связей между бывшими республиками. Следствием кризиса явилось резкое падение промышленного производства и снижение реальных доходов у большинства населения. Поэтому взвешенная тарифная политика, проводимая государством, позволила снизить негативные последствия и обеспечить нормальные условия проживания населению страны. Перекрестное субсидирование в энергетике – это создание низких тарифов на электроэнергию для населения за счет повышения соответствующих тарифов для промышленности. Однако после улучшения экономической ситуации в Республике Беларусь, данная тарифная политика осталась неизменной, что до сих пор отрицательно сказывается на развитии топливно-энергетического комплекса республики.

В условиях проведения реформ электроэнергетика до сих пор кредитует промышленность, сельское хозяйство и население страны за счет снижения ресурса работы технологического оборудования электроэнергетического комплекса, что в конечном итоге может подорвать энергетическую безопасность республики.

В настоящее время весьма важной становится корректировка тарифной политики. Известно, что тарифы на электроэнергетическую продукцию представляют собой разновидность цен и должны выполнять функции цен. Измерительная функция цены состоит в том, что она должна отражать общественно необходимые затраты. Это значит, что тарифы на энергию должны восполнить все затраты, связанные с производством и передачей энергии, а также планируемые отчисления и накопления. На рисунках 1, 2 можно увидеть степень покрытия затрат на производство электро- и теплоэнергии в Республике Беларусь.

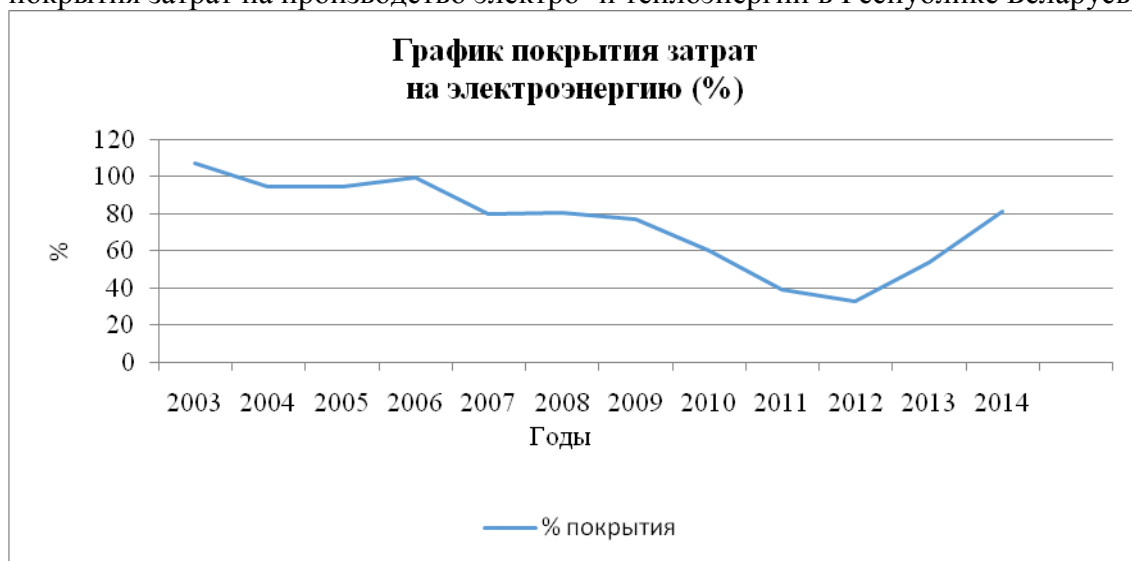


Рисунок 1. График покрытия затрат на электроэнергию

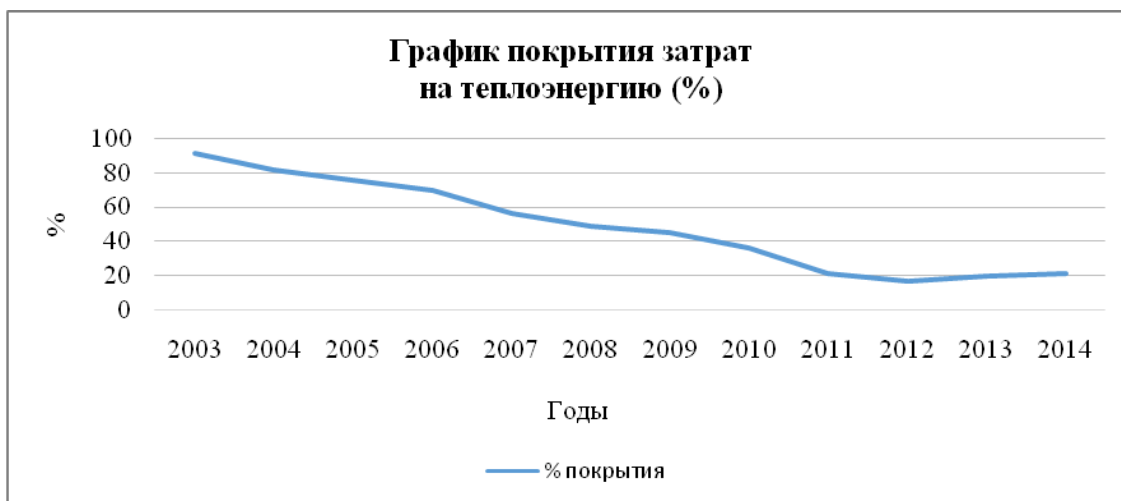


Рисунок 2. График покрытия затрат на теплоэнергию

Исходя из двух данных графиков можно сделать вывод: как в электроэнергетике, так и в теплоэнергетике доля покрытия затрат стабильно снижалась до 2012 года, притом доля покрытия затрат была снижена значительно. Однако, начиная с 2013-ого года можно отметить увеличение доли покрытия затрат в электроэнергетике до 80%, и незначительное увеличение доли покрытия затрат в теплоэнергетике.

Но помимо «перекрестного субсидирования» на формирование тарифов в энергетике оказывает влияние и число часов использования. Затраты делятся на условно-постоянные и условно-переменные. К условно-постоянным затратам относятся затраты на амортизацию, заработную плату рабочих, ремонт и прочие. Данные издержки не зависят от объема продукции, что отличает их от условно-переменных. К условно-переменным издержкам относятся издержки на топливо, данные затраты напрямую зависят от объема выпускаемой продукции, в данном случае от объема отпускаемой энергии. Принимая во внимание, что себестоимость электроэнергии состоит из выше приведенных затрат, можно сделать вывод, что стоимость энергии будет зависеть от объема выпускаемой продукции, в частности от числа часов использования электроэнергетической системы. Данная зависимость отражена на рисунке 3.

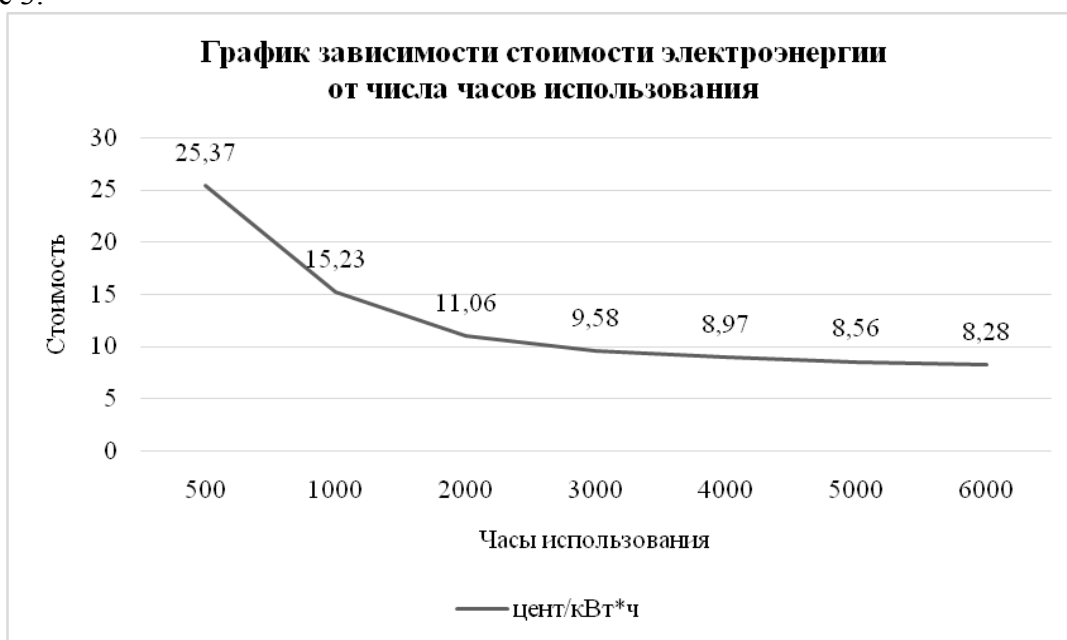


Рисунок 3. График зависимости стоимости электроэнергии от числа часов использования

Таким образом, исходя из данного графика можно сделать вывод, что при увеличении количества часов использования электроэнергетической системы стоимость электроэнергии снижается.

В настоящее время белорусская энергетика по показателю часов использования приближается к 2500-3000 ч., что повышает стоимость электроэнергии. Данный показатель необходимо увеличивать до 4000-4500 часов для достижения оптимальной стоимости электроэнергии.

Литература

1. Е. Ракова Тарифная политика: необходимость перемен./ Е. Ракова. НИЭИ Министерства экономики РБ. – Белорусская экономика: анализ, прогноз, регулирование №3, 2002.

УДК621.311.16.004.18

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Девялтовская Л.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Лапченко Д.А.

Энергетическое обследование ряда предприятий и организаций республики показывает, что недостаточно полно уделяется внимание эффективному использованию электроэнергии за счет управления установками электрического освещения производственных помещений, организаций, учреждений, а также освещения территорий предприятий и уличного освещения населенных пунктов. Существует немало мероприятий и средств, позволяющих рационально использовать электрическую энергию на освещение. Современные технические средства управления электрическим освещением производственных помещений, административных, жилых и других зданий обладают значительным энергосберегающим потенциалом.

Системы управления освещением – эффективный способ экономии электроэнергии в осветительных установках [1, с. 42]. Система управления освещением – это интеллектуальная сеть, целью которой является осуществление контроля над различными световыми решениями, обеспечивающими связь между внешними и внутренними системами освещения. При данном управлении используется один или несколько центральных вычислительных устройств. Эта система широко применяется в сфере как внутренней, так и наружной рекламы; промышленности; а также в жилых помещениях [3].

Системы управления освещением служат для обеспечения нужного количества света, где и когда это необходимо, поддерживают требуемые (нормируемые) уровни освещенности в процессе эксплуатации осветительных установок в соответствии с заданной программой, что исключает перерасход электроэнергии [1, с. 44].

Термин «управление освещением» обычно используется для определения автономного управления освещением внутри помещения. Оно включает в себя датчики присутствия, фоторезисторы, которые соединены проводной сетью для автономного контроля основного освещения в помещении. Регулировка происходит вручную, в зависимости от местоположения устройства.

Понятие «система управления освещением» характеризуется как интеллектуальная система устройств по контролю над освещением. Такая система включает в себя различные реле, датчики присутствия, фоторезисторы, световые переключатели, в том числе и сенсорные. Она также улавливает сигналы от других систем здания (такие как пожарная сигнализация). Регулировка системы происходит как локально, так и через центральный компьютер, с помощью программного обеспечения или других интерфейсных устройств.

Основным преимуществом системы управления освещением над автономным управлением освещения или над обычным ручным переключением света является способность контролировать отдельные световые приборы или группы приборов из единого пользовательского интерфейса устройства. Возможность одновременно контролировать несколько источников света из одного устройства позволяет создать нужную световую атмосферу, в зависимости от предназначения помещения в тот или иной период времени. Одним из важнейших преимуществ системы управления освещением является снижение энергопотребления. Еще одно преимущество – это увеличение продолжительности срока службы электрических лам, за счет энергосбережения. Беспроводные системы управления освещением также позволяют снизить затраты на установку и предполагают больше вариантов размещения датчиков и выключателей [3].

В производственных и общественных помещениях должно обеспечиваться отключение рядов осветительных приборов, расположенных параллельно окнам. Это может снизить расход электрической энергии на 5–10 %, а в помещениях с совместным освещением – естественным и искусственным – рекомендуется производить включение и отключение

отдельных групп осветительных приборов в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Данная мера дает экономию электрической энергии порядка 10–20 %.

Для наружного освещения территорий целесообразно устройство централизованного дистанционного, телемеханического или автоматического управления, что позволяет экономить 10–15 % электроэнергии.

Однако наибольшая экономия достигается при полной автоматизации их управления с учетом использования естественного освещения, присутствия людей в помещении, времени и продолжительности производственного процесса. При этом автоматическое управление осветительной установкой может достигаться как путем дискретного управления через отключение всех или части светильников, так и плавным изменением мощности источников света – всех, каждого или группы светильников в индивидуальном порядке.

В схемах автоматического дискретного управления освещением (светильником, их группой или осветительной установкой в целом) используются различного рода таймеры (реле времени), фотореле (фотоавтоматы), работающие по сигналам датчиков естественной освещенности, фотоакустические автоматы и автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей (животных) или их движения. Автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей, как правило, ведут подсчет их числа в помещении, что позволяет автоматически включать освещение при входе первого человека и выключать его при выходе последнего. Автоматические выключатели с датчиком движения при обнаружении движения в зоне действия датчика на заданное время (от 5 с до 7 мин) включают освещение, которое по истечении установленного времени работы осветительной установки или светильника автоматически отключается.

Фотоакустические автоматические выключатели освещения оборудованы микрофоном, что позволяет включать осветительную установку или светильник при возникновении шума определенного уровня – открывание двери, звонок, разговор, звон ключей, шаги и т. д. Схемы автоматического дискретного управления освещением могут также содержать не один из приведенных первичных преобразователей (присутствие людей, движение, акустический эффект и др.), а любые их комбинации. Для дискретного управления применяются светочувствительные лестничные автоматические выключатели, светочувствительные автоматические выключатели наружного освещения, фотоакустические лестничные таймеры, автоматические выключатели освещения с датчиком движения и микрофоном. Автоматический выключатель управляет осветительными установками, выполненными как лампами накаливания, здесь же галогенные, так и люминесцентными лампами, в том числе энергосберегающими.

Дальнейшим шагом автоматического управления осветительной установкой является создание локальных или централизованных систем, позволяющих плавно изменять световой поток источников искусственного освещения в зависимости от освещенности. Она создается естественным освещением, с целью поддержания создаваемой этими системами суммарной освещенности рабочих поверхностей на заданном уровне. Подобные системы управления могут организовываться на локальном или централизованном уровне. На локальном уровне они предназначены для управления и отдельным светильником, и группой светильников.

На централизованном уровне управление осуществляется всеми светильниками осветительной установки помещения или осветительных установок всех помещений здания. Системы могут быть созданы с использованием различного рода таймеров (реле времени) и задавать режим работы осветительной установки с учетом не только времени суток, но и дней недели. Например, это позволяет отключать осветительную установку в определенные часы суток, выходные и праздничные дни, что дает дополнительную экономию электрической энергии. Они могут дополняться автоматическими выключателями отдельных светильников или групп светильников, оснащенных датчиками учета присутствия людей, движения, звука [1, с. 45].

Выделим наиболее эффективные пути экономии электроэнергии на освещение:

1. Учет рационального использования осветительных установок на стадии проектирования; устройства естественного освещения и светоотражающие свойства отделки помещения; правильный выбор источников света, светильников, их экономичность.

2. Рациональное использование естественного освещения.

3. Контроль номинальных уровней напряжения в сетях освещения. Увеличение уровня напряжения относительно номинального ведёт к перерасходу электроэнергии, а уменьшение – к снижению светового потока; использование устройств автоматического регулирования напряжения.

4. Управление сетями освещения. Грамотно продуманная система управления сетями освещения позволит сократить число часов использования «в холостую», за счет коммутации (включения – отключения) отдельных светильников, групп, помещений, цехов и всего предприятия. В помещениях с высотой до 4-5 метров рекомендуется использовать выключатель на 1-2 лампы или на их малую группу. В крупных цехах оправдано дистанционное управление освещением с пульта, расположенного у дежурного персонала. С пульта производится управление освещением: рабочих мест, обособленных зон, охранного освещения и всего цеха. Максимально централизуется управление наружным освещением предприятия, а также управление освещением всех цехов и помещений. Управление наружным освещением рекомендуется разделить на функциональные части: дороги и подъезды, охранное (дежурное) освещение, открытые рабочие места, открытые складские площади и т.д. Автоматизация управления освещением на основе фотоэлементов применяется в основном для управления наружным освещением.

5. Организационно-технические мероприятия при эксплуатации осветительных установок, направленные на экономию электроэнергии. Составление планов и графиков осмотра и чистки стекол; создание системы мотивации и стимулирования среди персонала за рациональное использование осветительных установок[4].

Экономия электроэнергии – крайне важный аспект жизни современного общества, затрагивающий и производственную сферу, и быт каждого человека. Ведь неразумное потребление этого достаточно дорогостоящего вида энергии приводит к весьма значительным затратам, что может существенно сказаться как на благосостоянии человека, так и на развитии предприятий[2].

Внедрение предлагаемых решений и технических средств по управлению осветительными установками и регулированию освещенности помещений позволит использовать электрическую энергию на освещение помещений производственных, общественных и жилых зданий. Применение дополнительных устройств дистанционного или автоматического управления осветительными установками является мало затратным и быстро окупаемым энергосберегающим мероприятием, которое должно активно внедряться службами, занимающимися эксплуатацией систем освещения в промышленности и коммунально-бытовом секторе.

Литература

1. Русан, В. Энергоэффективное управление электрическим освещением зданий и открытых территорий / В. Русан, АитБахажу М. // Энергетика и ТЭК. – 2015. – №7-8. – С.42-46.
2. Стружков, П.В. Способы экономии электроэнергии на производстве и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции / П.В. Стружков // Энергосовет. – 2013. – №2(27). – С.56.
3. Система управления освещением [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>.
4. Эффективные методы экономии электроэнергии в осветительных установках промышленных предприятий. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.electroagregat.ru>

УДК 620.952,620.953

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Марков А.Н.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

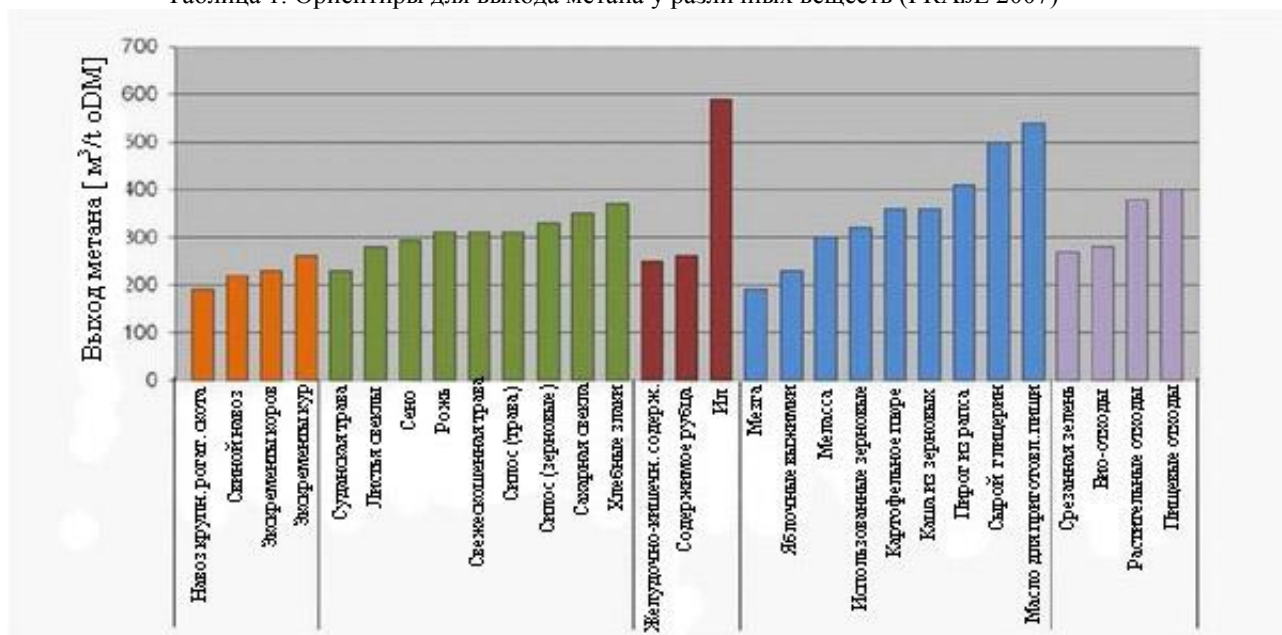
Республика Беларусь, наравне с западноевропейскими странами, пригодна для развития эксплуатации биогазовых установок и комплексов ввиду большой площади, пригодной для лесной отрасли промышленности; равнинной местности, хорошо развитого распределения мощности и инфраструктуры централизованного теплоснабжения, высокого уровня мясной, мясомолочной, куриной, деревообрабатывающей промышленности, а также технически образованного общества.

Опыт использования биогазовых установок в Республике Беларусь позволяет судить о том, что биогаз является перспективным источником альтернативной энергии на данной территории в условиях недостатка гидро-, солнечной и ветровой энергий.[1, С. 23,С.25]

Биогазовые комплексы позволяют вырабатывать электроэнергию из биогаза, получаемого при брожении органических отходов. Биогазовые установки производят электрическую и тепловую энергию, высококачественные удобрения, обеспечивают утилизацию отходов, сокращают выбросы метана в атмосферу.

В качестве субстрата для производства биогаза используются отходы, образующиеся в результате содержания животных, такие как навозная жижа или навоз, растительное сырье и органические отходы.

Таблица 1. Ориентиры для выхода метана у различных веществ (PRAVL 2007)



Принцип функционирования биогазовой установки прост: с помощью сепарации навозная жижа сгущается от 6 до 10%, вместе с навозом и силосом транспортируется в смеситель, где компоненты перемешиваются. Затем субстрат подвергается процессу ферментации. В ферментере время выдержки составляет 30-45 дней, причем благодаря активности микроорганизмов образуется биогаз. Для предотвращения образования плавающих корок и осадка субстрат постоянно перемешивается. Благодаря этому облегчается выделение образованного газа - биометана. Количество образуемого газа наряду с субстратом зависит от времени выдержки и от рабочей температуры.

Биогаз может использоваться во всех известных газовых приборах и машинах. Одним из эффективных способов применения биогаза является комбинированная выработка электрической и тепловой энергии в блочной теплоэлектроцентрали. Биогаз выступает как

горючее для дизельного или бензинового двигателя, который для выработки электроэнергии приводит в действие генератор. Образующееся отходящее тепло двигателя используется как тепло для отопления. Выработанная электроэнергия используется для собственных нужд и подается в коммунальные сети.[2 С.271-293]

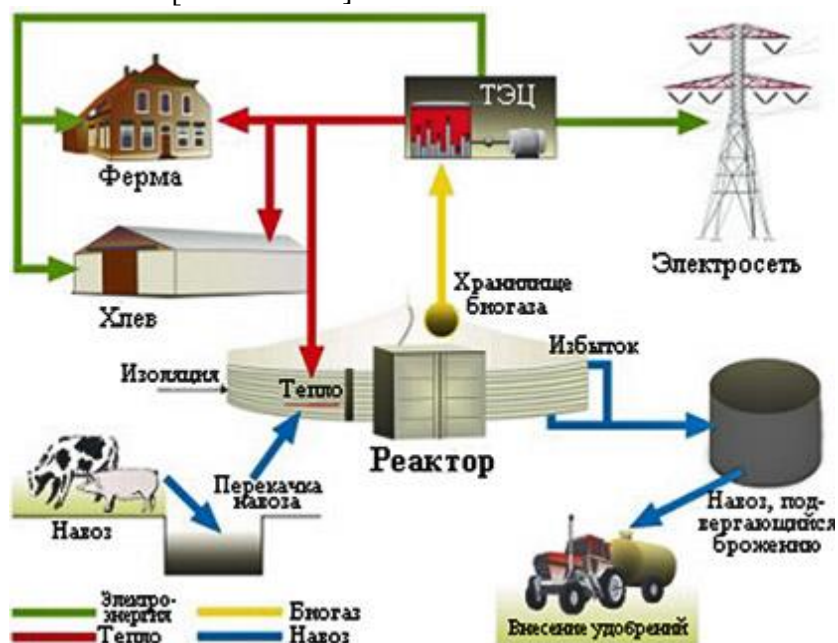


Рисунок 1. Схема производства и использования биогаза

Согласно Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг., в Беларуси за 5 лет планировалось ввести в строй биогазовые установки общей электрической мощностью до 90 МВт, работающих на отходах животноводства и птицеводства, мясопереработки, сточных вод, сахарных заводов.

Кроме того, была разработана программа на 2012–2015 гг., согласно которой в стране должно было быть дополнительно построено еще 32 биогазовых комплекса. Однако полностью реализовать все задачи, поставленные до конца 2012 г., не удалось из-за сложившейся экономической ситуации. [5]

В августе 2010 года правительство Беларуси подписало инвестиционный договор со швейцарской компанией «TDFEcotechAG», которая реализовывала направление на «Проектирование, строительство и эксплуатацию биогазовых комплексов». Согласно проекту на предприятиях СПК «Агрокомбинат «Снов» и СПК «Лань-Несвиж» были внедрены биогазовые комплексы, мощность которых составляет 2 МВт и 1,4 МВт соответственно. Компания полностью профинансировала строительные работы и приобретение оборудования, агрокомбинаты обеспечивают установки сырьём и после переработки получают и используют удобрения, тепловую и электрическую энергию. [4]

Внедрение биогазовых установок уже на сегодняшний день дало положительный экологический эффект в Минской и Брестской областях: удалось избежать засорения рек отходами и неприятного запаха в окрестностях.

На данный момент введена в эксплуатацию самая мощная в Беларуси и вторая по мощности в Европе биогазовая установка в СПК «Рассвет» Могилёвской области. Её мощность составляет 4,8 МВт, мощность же самого крупного биогазового комплекса в Пенкуне (Германия) составляет 20 МВт. [5]

Преимущества использования:

- Богатая практически не истощаемаясамопополняющаяся сырьевая база;
- Малая себестоимость 1 кВт энергии (3,5-4цента/кВт*ч);
- эффективная и экологичная переработка отходов с получением на выходе полезных в хозяйстве веществ;

- Топливо-энергетическая независимость;
- Полное покрытие расходов на собственные нужды на предприятии.

Трудности использования. Помимо положительных аспектов существуют и трудности на пути использования биогазовых технологий в Беларуси. В числе проблем значатся:

- Более высокая себестоимость единицы энергии, ввиду высоких затрат на строительство биогазовых установок (ок. 7 центов за 1 кВт*ч);

Таблица 2. Стоимость капитальных затрат на 1 кВт электроэнергии

Тип биогазовой станции	Капитальные затраты
Биогазовая станция 75 кВт. эл.	9.000 €/кВт. эл.
Биогазовая станция 150 кВт. эл.	6.500 €/кВт. эл.
Биогазовая станция 250 кВт. эл.	6.000 €/кВт. эл.
Биогазовая станция до 500 кВт. эл.	4.500 €/кВт. эл.
Биогазовая станция 1.000 кВт. эл.	3.500 €/кВт. эл.

Источник: Специализированное отраслевое агентство по возобновляемому сырью (FNR, 2013)

- отсутствие координации заинтересованных министерств и ведомств;
- недостаточное научное обоснование всех звеньев цепи от производства до потребления энергии;

• отсутствие комплекса адаптированных для Беларуси технологий, которые позволяют извлечь максимум энергии от различных видов биологического сырья, в частности от животноводческих ферм: проектировщики обычно берут средние значения, но практика показывает, что они иногда не доходят даже до минимума тех расчетных показателей, которые заложены в ТКП. Следует учесть, что цифры, которые приведены в приложении, – это данные немецких исследований, которые без особых изменений и без достаточного научного обоснования использовали авторы ТКП. Причина в том, что в Беларуси подобных исследований никто не проводил, т.к. для этого не было возможности.

По материалам «БелаПАН» немецкая компания "Бинова" (Фрайбург) планирует сотрудничать с белорусскими учеными и специалистами в создании установок по производству и использованию биогаза. Предполагается, что стороны будут взаимодействовать также в плане улучшения качества параметров функционирования биогазовых установок и по другим направлениям, представляющим взаимный интерес.

По итогам встречи Институт техники и экономики Берлина, Международный государственный экологический институт им. А.Д.Сахарова и Белорусский национальный технический университет подписали соглашение о взаимодействии и сотрудничестве. [3]

Для более эффективного производства биогаза в Республике Беларусь необходимо учитывать территориальные и климатические условия, правильно используя которые можно минимизировать влияние отрицательных и максимизировать влияние положительных аспектов использования биогазовых установок.

Литература

1. Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit: Die Buchinformationen/ Zorg-biogas. - В.Едер; Н. Schulz –, 2011. - С. 23-45.
2. Земсков, В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Агроинженерия"/ В. И. Земсков; рец. Г. М. Харченко. - Санкт-Петербург: Лань; Москва; Краснодар, 2014. –С. 255
3. Немецкая компания "Бинова" планирует сотрудничать с белорусскими учеными и специалистами в создании биогазовых установок [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://belapan.by>
4. Реализованные проекты [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.tdf-ecotech.com/>
5. Шайтар, В. Строительство биогазовых комплексов в Беларуси/ В. Шайтар// Мастерская. Современное строительство. – 2013. – 13.03. – С. 1.

УДК 332.025.28

ПРИВАТИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЕЁ ПРОБЛЕМЫ

Иванович А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

Приватизация – процесс приобретения физическими и юридическими лицами права собственности на объекты, принадлежащие государству. Поэтому оно полностью или частично утрачивает права владения, пользования и распоряжения государственной собственностью.

Приватизация — не самоцель, а способ формирования крупного негосударственного сектора, получения средств для реконструкции народного хозяйства, становления частного сектора. Процесс приватизации изменяет отношения собственности как внутри предприятия, так и во всем обществе. В результате возникает новая система экономических интересов, требующая другой системы управления. Появляются новые социальные слои и группы — управляющие (менеджеры), собственники (акционеры), крупные и мелкие предприниматели. Таким образом, приватизация, изменяя отношения собственности, создает предпосылки для коренных изменений в социальной структуре общества.

Препятствия, которые стоят на пути приватизации, можно разделить на общие институциональные барьеры для развития частного сектора, деловой климат и технические барьеры.

Приватизация – длительный процесс, который требует всестороннего анализа политических, юридических, институциональных, внешних и других факторов, которые способствуют возможности продажи госпредприятий и их собственности. Государство должно создать равные права и поле для конкуренции для общественного и частного секторов. Должно быть четкое разделение между экономикой и политикой. Ни госпредприятиям, ни бизнесменам, которые близки к политическим деятелям, нельзя давать привилегий. Иначе, государство установит клановый капитализм, где реальная конкуренция будет ограничена. Кроме того, власти должны разработать предсказуемые, конкретные и прозрачные «правила игры», обеспечить исполнение закона о правах собственности.

Другим фактором, стимулирующим приватизацию, является деловая среда и деловые возможности в регионе и конкретной экономике. Чем лучше инвестиционный климат, тем лучше конкурентоспособность страны на рынке инвесторов, и больше возможностей привлечь крупных инвесторов с долгосрочными планами относительно приобретенной собственности. Как пример, Кризис платежного баланса в Беларуси в 2011 г., который был результатом огромного денежно-кредитного и финансового ослабления накануне президентских выборов, что привело к повышению дефицита, гиперинфляции и быстрому росту девальвации. Такая экономическая ситуация препятствует внутренним и внешним инвесторам, чтобы инвестировать или развивать бизнес в Беларуси. Фактически, кризиса можно было избежать благодаря определенным экономическим институтам (например, независимость Национального банка Беларуси могла бы предотвратить ослабление валютной политики перед политическими выборами).

Согласно белорусским и международным экспертам, а также представителям частного сектора, одно из главных препятствий для приватизации – непрозрачность. До сих пор существует большая неуверенность во многих областях приватизации:

I. Субъекты принятия решений. Слишком много ответственных лиц, принимающих решение, с которыми могли бы связаться потенциальные покупатели. Не совсем ясно, какое агентство ответственно за какой актив. Президент и центральное правительство должны уполномочить местные органы власти или специализированные агентства для малой приватизации. А президент и центральное правительство должны быть ответственны за приватизацию стратегических компаний. Фактически центральное правительство должно

обязать местные органы власти способствовать приватизации многих убыточных предприятий и активов.

II. Методы оценки актива. Частные инвесторы принимают во внимание обесцененный метод денежной стоимости оценки инвестиционного проекта, то есть они оценивают будущие потоки наличных денег, которые появятся, и как скоро будут покрыты расходы. В то время как частные инвесторы оценивают активы согласно рыночной цене, белорусская сторона оценивает согласно балансовой стоимости. В случае нерентабельного или малоэффективного госпредприятия или его собственности это часто приводит к большой разнице в цене, так как цена по прейскуранту выше, чем рыночная цена.

III. Доступность полной информации о приватизации, госпредприятии или его собственности, которое должно быть продано. Не все соглашения о приватизации открыты для гласности. Это отрицательно сказывается на мнении инвесторов о стране. Иногда это делается сознательно, но иногда это просто нехватка надлежащей коммуникации и связей с общественностью. Чтобы улучшить ситуацию, власти могут расширить такие функции Национального Агентства по Инвестициям и Приватизации. Кроме того, новое учреждение может быть введено на локальном уровне – так называемые «группы технического обслуживания». Это юридическое лицо в государственной администрации, которое имеет дело с инвесторами, снабжая их информацией и консультируя.

Приватизация в белорусской экономике, которая находится все еще во власти государственного сектора, может действительно быть важным инструментом улучшения эффективности и производительности, а также повышения конкуренции. Эффективная политика приватизации не может быть осуществлена без четкого представления о ее целях.

Результаты приватизации во многих случаях зависят от типов собственности и методов приватизации. Структуры собственности в приватизированных компаниях не статичны, они имеют тенденцию преобразовываться в более эффективные структуры. Опыт посткоммунистических стран указывает на небольшое использование массовой приватизации и важность индивидуального подхода к каждому предприятию и активу, нацеленному на более эффективный вид собственности, чем государственная. Оптимальная политика приватизации будет соединять различные методы приватизации, которые будут зависеть от ряда факторов.

Независимо от того, какую политику по приватизации выберет белорусское правительство, прежде всего, эта политика должна быть прозрачной. Во-вторых, к любому бизнесу (также как к госпредприятиям) нужно относиться одинаково. В-третьих, макроэкономическая стабильность играет важную роль в развитии частного сектора и привлечении прямых иностранных инвестиций. Наконец, что не менее важно, многие технические проблемы самой приватизации могут быть решены с помощью международных институтов.

На данный момент Беларуси нужны открытые общественные обсуждения с участием всех главных заинтересованных в приватизации лиц, чтобы гарантировать прозрачность и подотчетность процесса. Эти заинтересованные лица, прежде всего, – правительство, эксперты, ассоциации частного предпринимательства, профсоюзы, международные учреждения, ученые, представители гражданского общества.

Ясно, что вопрос приватизировать или нет, не стоит. Вопрос в том, как сделать так, чтобы частный сектор рос наиболее эффективным способом и в пользу граждан Беларуси.

УДК 620. 92

МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ОСВОЕНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Лапшина Т.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Технологии возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности солнечной и ветроэнергетики, достигли такого уровня развития, что они стали конкурентами традиционных способов производства энергии на основе ископаемого топлива. За последнее время сектор ВИЭ превратился в неотъемлемую часть энергетического баланса все большего количества стран. Это обусловлено и изменением климата, и ухода от сырьевой зависимости, и ростом энергопотребления, и другими немаловажными факторами.

Стоимость энергии, производимой некоторыми альтернативными источниками, уже сегодня ниже стоимости энергии из традиционных источников, да и сроки окупаемости строительства альтернативных электростанций существенно короче. Снижение цены на возобновляемые источники энергии увеличивает количество людей, способных их использовать, однако, это не означает, что ВИЭ смогут полностью заменить традиционные источники энергии, т.к. последние характеризуются большей надежностью и способны гибко реагировать на потребности энергосистемы.

Главным экономическим показателем конкурентоспособности той или иной технологии электро- и теплогенерации является себестоимость производимой энергии. Для многих развивающихся стран важной задачей стоит создание автономного энергообеспечения путем применения нетрадиционных источников, что могло бы стать решением многих экономических проблем. Благодаря технологическим достижениям появляются дешевые мощные ветряные турбины и недорогие компоненты солнечных электрических систем, поэтому во многих местах себестоимость возобновляемой энергии становится все меньше.

Существует ряд факторов, сдерживающих развитие зеленой энергетики. Это и недостаток экономических стимулов, внутренних инвестиционных ресурсов, значительные капитальные затраты по сравнению с традиционными источниками энергии. Что же касается Республики Беларусь, это также недостаток опыта в реализации подобных проектов.

Государственные органы могут устанавливать субсидии, целевые показатели, а также определять финансовые ограничения и стимулы. Примерами могут быть надбавки к тарифам на энергию, посредством чего государство компенсирует производителям в течение определенного времени повышенные расходы на энергию, получаемую от ВИЭ; свободный доступ на рынок электроэнергии; квотирование производства (потребления) электроэнергии от возобновляемых источников; установление налогов на выбросы и загрязнение окружающей среды для предприятий, использующих ископаемое топливо. Средства, полученные от уплаты налогов, можно использовать для развития ВИЭ; поддержка производителей оборудования для ВИЭ; льготные кредиты и субсидирование инвестиций в ВИЭ; подготовка и повышение квалификации специалистов, занятых в сфере производства энергии на основе ВИЭ

В целях создания более благоприятных условий для инвестирования в строительство объектов возобновляемой энергетики и предоставления гарантий государства по защите инвестиций в такие объекты Президент Беларуси 18 мая 2015 года подписал указ №209 "Об использовании возобновляемых источников энергии". Принятие данного указа позволит государству управлять вводом новых мощностей ВИЭ, определять государственный бюджет на стимулирование выработки «зеленой» энергии. К настоящему моменту вступило в силу постановление Совмина от 6 августа 2015 года №662 «Об установлении и распределении квот на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии». С вводом квот на рынке возобновляемой энергетики может появиться «здоровая» конкуренция

среди инвесторов, которые будут стремиться устанавливать высокотехнологическое оборудование, для получения площадки под строительство.

Также в Беларуси предусмотрены значительные льготы и преференции инвесторам: освобождение установок по использованию возобновляемых источников энергии от НДС при ввозе на территорию Республики Беларусь; освобождение от земельного налога земельных участков, занятых объектами и установками по использованию возобновляемых источников энергии. В качестве благоприятных факторов для инвестиций в отрасль отмечается высокий уровень покрытия страны государственными энергетическими сетями, а также существенная база потребителей энергии - предприятий тяжелой промышленности.

Без государственной поддержки развитие возобновляемой энергетики вряд ли было бы возможным. Рост спроса на энергию, произведенную из возобновляемых источников, может привести к увеличению инвестиций, быстрому технологическому прогрессу и снижению себестоимости. В конечном счете, это должно сделать альтернативные технологии конкурентоспособными, что позволит перестать искусственно их поддерживать.

Литература

1. Альтернативные источники энергии URL: Беларусь <http://www.energya.by>
2. Информационно-аналитическое агентство URL: <http://www.cleandex.ru>
3. Инженерно-консалтинговая компания URL: Беларусь <http://www.eneca.by>
4. Национальный интернет-портал Республики Беларусь URL: Беларусь <http://www.pravo.by>

УДК 662.6/8:621.311

ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ ТОПЛИВА

Олешко И.С.

Научный руководитель - к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Основным видом материальных ресурсов, расходуемых тепловыми электростанциями и районными котельными (далее ТЭС, энергопредприятия и электростанции) на технологические нужды (на производство электроэнергии и тепла), является котельно-печное (технологическое) топливо. Топливо, поступающее на ТЭС и расходуемое на технологические и другие нужды, а также хранящееся на складе и отпускаемое сторонним организациям, подлежит строгому учету. Учет топлива включает: определение его количества и качества в требуемом объеме и с требуемой точностью, периодическую инвентаризацию; предъявление претензий поставщикам и транспортным организациям при обнаружении расхождений по количеству и качеству топлива; документальную регистрацию выполняемых операций. Вообще существует 3 вида учета топлива: 1) оперативный, 2) технический и 3) бухгалтерский. Каждый из них ведется соответствующими службами и подразделениями ТЭС.

Рассмотри же оперативный учет топлива. Оперативный учет топлива отражает движение топлива в натуральном исчислении и включает приемку топлива от поставщиков, определение его расхода на производство, ведение претензионной работы, а также периодические инвентаризации. Оперативный учет жидкого топлива является функцией эксплуатационного персонала топливно-транспортного цеха (ТТЦ) либо другого подразделения, в ведении которого находится топливное хозяйство, а газообразного топлива – функцией ТАИ (тепловая автоматика и измерения). Анализ качественных показателей топлива выполняется химическим цехом. Организация приема, разгрузки, хранения и подачи топлива на производство определяется ПТЭ (производственно-техническая экспертиза).

Топливо, поступающее на электростанцию, подлежит стопроцентному контролю по количеству и качеству; масса жидкого топлива, поступающего в цистернах, по железной дороге или автотранспортом определяется путем взвешивания или обмера, а поступающего водным транспортом или трубопроводом, путем обмера резервуаров. Масса оприходованного топлива рассчитывается с учетом предельных расхождений и норм естественной убыли при перевозке.

Результаты контроля взвешивания жидкого топлива заносятся в ведомость учета жидкого топлива, которая подписывается приемщиком. Эта ведомость заполняется посменно или за сутки в целом.

В случае необходимости отбираются пробы мазута для определения количества примесей и воды, затем происходит сверка количества поступившего топлива с массой топлива, указанной в накладной.

При положительном или отрицательном значении фактического расхождения по абсолютному значению, не превышающем допустимого предельного расхождения, оприходуется масса топлива, указанного в накладной.

Пример 1. На ТЭС поступило топливо (мазут) суммарной массой брутто до 1000 т. Топливо принималось повагонным взвешиванием цистерны в движении без расцепки на весах 1959ТС-200 В.

Вариант 1. Масса мазута в цистерне по накладной 60,0 т, а фактическая масса оказалась по результатам взвешивания 60,46 т. Допустимое предельное расхождение в определении массы топлива $\pm 0,48$ т больше фактического расхождения (+ 0,46 т) и, следовательно, топливо оприходуется массой 60,0 т.

Вариант 2. Масса мазута в цистерне по накладной 60,0 т, а фактическая – 59,54 т. Фактическое расхождение в определении массы топлива (-0,46 т) по абсолютному значению

меньше допустимого предельного расхождения ($\pm 0,48$ т) и, следовательно, топливо оприходуется тоже массой 60,0 т.

Вариант 3. Фактическая масса топлива в цистерне по результатам взвешивания 60,54 т, превышает допустимое предельное расхождение $\pm 0,48$ т и, следовательно является излишками. Топливо в данном случае оприходуется в количестве 60,54 т, а за излишки (0,54 т) производится либо доплата поставщику топлива, либо эти излишки вычитаются при предъявлении претензии из общей выявленной недостачи.

Вариант 4. Фактическая масса мазута в цистерне по результатам взвешивания 59,0 т, а по накладной – 60,0 т. Норма естественной убыли при перевозках составляет 0,006 т. Фактическое расхождение в массе топлива (-1 т) по абсолютному значению превышает сумму допустимого предельного расхождения $\pm 0,48$ т и норму естественной убыли (0,006 т). В расчетах массы жидкого топлива (мазута) нормы естественной убыли не учитываются в связи с их малыми значениями. В данном случае топливо оприходуется в количестве 59,0 т (естественная убыль в расчетах не учитывается), а недостача, равная 1 должна быть учтена при составлении сводной ведомости о недостаче и естественных потерях топлива при перевозках по форме ТТ-24.

При отрицательном значении фактического расхождения по абсолютному значению, не превышающем сумму допустимого предельного расхождения оприходуется масса топлива, указанная в железнодорожной накладной.

Пример 2. Исходные данные аналогичны данным для примеру 1. Фактическая масса топлива в цистерне по результатам взвешивания – 59,6 т, по накладной – 60,0 т. Норма естественной убыли составляет 0,006 т и в расчетах не используется. Если по абсолютному значению фактическое расхождение в массе топлива ($-0,4$ т) не превышает допустимого предельного расхождения ($\pm 0,48$ т), то оприходуется масса топлива, указанная в накладной.

Все поступившее топливо проверяется по качеству. Контроль качества, поступившего топлива производится путем взятия проб и их химического анализа. Результаты анализа проб фиксируются химическим цехом в журнале по учету качества, поступающего топлива и используется в претензионной работе.

При обнаружении несоответствия топлива ГОСТу бракуется вся партия топлива.

Нормы естественной убыли жидкого топлива разработаны по 8 группам нефтепродуктов, однако в Республике Беларусь в основном сжигаются нефтепродукты 5 и 6 группы.

Предъявление претензии при обнаружении несоответствия по количеству, качеству топлива является обязанностью электростанции в том случае, если она сама заключила договор на поставку. Если договор на поставку заключил РУП, то электростанция предоставляет весь материал для предъявления претензий РУПу.

Претензия может направляться поставщику и перевозчику не позднее чем через месячный срок со дня поступления топлива. Этот же срок поставщик (перевозчик) обязан сообщить результаты по выставленной претензии.

В бухгалтерии ведется учет топлива на основании оформленных первичных документов по приходу топлива, по оплате за топливо, по расходу топлива и прочие документы.

Регистрация поступающих счетов поставщиков производится в журнал ордер № 6 построчно (по мере их поступления). Наличие движения топлива по фактической себестоимости отражается на субсчете 10.3. Бухгалтерский учет расчетов с поставщиками за топливо осуществляется на счете 60.

Недостача сверхнорм естественной убыли топлива, выявления при приемке товара относится по дебиту субсчета 76.3 запись на данный счет осуществляется на основании коммерческих актов, претензионных писем и других оправдательных документов.

Неудовлетворенная претензия по поставкам топлива включается в состав затрат на производство по статье «Топливо на технологические нужды» с увеличением удельных расходов топлива, если отказ поставщика или суда мотивирован причинами технического

характера. Если же отказ мотивирован причинами нетехнического характера, то такая недостача относится на удорожание топлива.

Литература

1. Инструкции по бухгалтерскому учету запасов, утвержденной постановлением Министерства финансов Республики Беларусь от 12.11.2010 № 133

УДК621.3

ЭКОЛОГО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Пусь А.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Бокун И.А.

Высокая стоимость традиционно импортируемых в Беларусь энергоносителей привела к использованию в республике возобновляемых источников энергии, особенно биомассы.

И это не случайно, поскольку из биомассы можно получать как тепловую и электрическую энергию, так и топливо для работы мобильных и стационарных машин.

Применение биотоплива в виде дров, навоза, отходов сельскохозяйственного производства может обеспечить высокую выработку электроэнергии. Таким образом, логично считать, что главным источником энергии из биомассы являются отходы сельскохозяйственной и лесной отраслей, а также специальные насаждения (энергетические плантации).

Существует много способов энергетического использования биомассы, которые различаются как технологическими процессами, так и продуктами, получаемыми в ходе этих процессов.

Например, из сухой биомассы в процессе сжигания можно получить тепловую и электрическую энергию, в процессе газификации – горючие газы, метанол; с помощью пиролиза – горючие газы, смолу, древесный уголь, полукокс; в процессе гидролиза и дистилляции – этиловый спирт, при брикетировании и прессовании – топливные брикеты, а с помощью анаэробного сбраживания – биогаз.

Сегодня единственный путь использования лесосечных отходов и древесно-кустарниковой растительности – это производство из этой биомассы пеллет. Пеллеты являются высококалорийным, транспортабельным, хорошо сохраняемым биотопливом, за которым будущее в энергетике Беларуси и других стран.

Использование древесины в качестве сырья для производства биотоплива обусловлено целым рядом ее достоинств: выход продукции в пересчете на гектар очень высок; из древесины получается значительно больше биомассы, чем из любого другого источника; разведение лесов требует гораздо меньших капитальных вложений, чем других культур.

Древесное брикетированное и гранулированное биотопливо может успешно экспортироваться в другие государства, так как оно имеет высокие теплотехнологические характеристики. Гранулированное топливо изготавливается также из шелухи, соломы, макулатуры, твердых бытовых отходов.

Преимуществом пеллет являются высокая теплотворная способность по сравнению со щепой, опилками и кусковой древесиной, малый расход топлива, более низкая стоимость котельного оборудования для их сжигания, небольшие объемы запасов на складах, постоянная влажность (не более 10 – 12%), низкая биологическая активность (не гниют, не содержат пыли и спор), не способны к самовозгоранию.

При сжигании 1 тонны древесного брикета выделяется столько же энергии, сколько при сжигании 1,6 тонн древесины, 480 м³ газа, 500 литров дизельного топлива или 600 литров мазута.

Ежегодно в республике образуется около 7 млн м³ древесных отходов, использование которых тормозится из-за отсутствия эффективных технологий их переработки в полезные продукты.

Анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании различных видов топлива показал, что содержание серы в угольном шлаке в 30 раз больше, чем в брикетной золе, и шлака образуется (требующего утилизации) в 20 раз больше. При сжигании пеллет, выброс СО₂ и NO₂ в сравнении с каменным углем меньше в 2 и 7 раза соответственно. А при

сжигании дизельного топлива и мазута выделяется огромное количество вредных для организма человека веществ, в том числе канцерогенов.

Таким образом, древесное топливо (в первую очередь пеллеты и брикет) более предпочтительно, с точки зрения загрязнения атмосферы, в сравнении с мазутом (тем более с углем), так как имеет практически "нулевой эффект" по выбросам парниковых газов, прежде всего CO₂. Использование древесного топлива в качестве энергоносителя в полной мере отвечает положениям Киотского протокола, касающихся ограничения и сокращения выбросов парниковых газов.

С использованием брикетов и пеллет решаются как глобальные, так и локальные экологические проблемы.

Наиболее значимыми среди глобальных проблем является снижение парникового эффекта и риска образования кислотных дождей за счет уменьшения выброса диоксида серы. В свою очередь сокращение концентрации кислотных дождей приводит к снижению дефолиации древесных растений и в конечном итоге – к сохранению лесов. Среди локальных проблем весьма существенно сокращение объемов и экологичное использование отходов, а также снижение риска чрезвычайных ситуаций при транспортировке топлива, при которой происходит загрязнение окружающей среды (аварии с нефтеналивными танкерами, на продуктопроводах, электростанциях, в том числе АЭС).

В целом задача производства эффективного и экологичного топлива из возобновляемых и неиспользуемых отходов является весьма благородной и благодарной, решая проблемы утилизации практически бесполезных, а зачастую и вредных отходов, дает потребителям дополнительный источник эффективного топлива, является предметом выгодного бизнеса производителей, давая им дополнительный хороший источник прибыли.

Литература

1. Боровков В. М., Зысин Л. В. Основные направления развития мини- ТЭЦ на основе современных парогазовых технологий. // Известия РАН. Энергетика. 2001. - №1. с. 100-105.
2. Бокун И.А., Темичев А.М. Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии // Бокун И.А., Темичев А.М. Минск, 2004. 190 с.

УДК 621.039

ПОТЕНЦИАЛ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Шумский А.Н., Елисеева А. И.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцера Т.Ф.

Светодиодные лампы или светодиодные светильники в качестве источника света используют светодиоды, применяются для бытового, промышленного и уличного освещений. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не используют веществ, содержащих ртуть, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или разрушения.

Принцип работы светодиода заключается в том, что при пропускании через полупроводник прямого электрического тока, часть электронов выскакивает на р-п переходе из потока на одной пластине светодиода, сталкивается с электронами другой пластины, выбивает их со своих ячеек, вследствие чего образуются, говоря научным языком, «дырки». Из-за хаотичного движения электронов и их столкновения друг с другом, выделяется энергия и появляется свечение.

Преимущество светодиодного светильника по сравнению с лампами накаливания — низкое энергопотребление, снижение нагрузки на электрооборудование, заявленный долгий срок службы от 30'000 до 50'000 и более часов, простота установки, более низкая температура корпуса по сравнению с лампой накаливания, имеющей сравнимую яркость, высокая механическая прочность, зачастую — небольшие габариты.

Также преимуществом является полная экологическая безопасность позволяющая сохранять окружающую среду, не требуя специальных условий по утилизации: не содержит ртути, её производных и других ядовитых, вредных или опасных составляющих материалов и веществ. Иногда производители не соблюдают экологические нормы. Лампы таких производителей содержат токсичные пластики, электролиты, свинец-содержащие пайки и т. п.

Стоит отметить, что при выборе светодиодных ламп нужно уделить внимание температуре свечения. Если этот показатель больше 4000 К, то свет будет белым с холодным оттенком, если меньше 3000 К – то теплый, желтый, чем-то напоминающий солнечный. Для сравнения, температура свечения лампы накаливания составляет порядка 2800 К. Здесь уже все зависит от ваших предпочтений. Тёплый свет придаст комнате уютную атмосферу, поможет расслабиться и отдохнуть после трудового дня. Белый свет светодиодных ламп больше всего приближен к натуральному – он хорошо подходит для освещения рабочих мест, помогает бороться с мыслями и сконцентрироваться на делах.

Основные недостатки — высокая цена, падение яркости со временем из-за выгорания светодиодов, многие светодиодные лампы светят только в одном направлении. В дешёвых лампах за счёт экономии на конденсаторах возникает не видимое невооружённому глазу высокочастотное мерцание, а из-за экономии на теплоотводящих элементах перегорание от перегрева, особенно в закрытых плафонах. Эти недостатки чаще всего компенсируются экономией электроэнергии, экономией на обслуживании (замене ламп), что особенно актуально для уличного освещения.

Большинство светодиодов белого света (синий кристалл — жёлтый люминофор) имеют неоднородный спектр, а именно — большой провал в спектре на длине волны 480 нм. На свет именно этой длины волны должен реагировать зрачок глаза сужением, но этого не происходит и глаз (хрусталик, сетчатка) получает большую травмирующую дозу синего света. Поражение сетчатки глаза мышцей синим светом при облучении их белыми светодиодами было экспериментально подтверждено М. А. Островским и П. П. Заком. Однако

в настоящее время ряд фирм уже разработал светодиоды, спектр света которых адаптирован для глаз человека.

Некоторые СМИ публикуют также статьи о вредности LED-освещения, ссылаясь на исследование испанских учёных из Университета Комплутенсе. Это исследование, действительно, говорит о бóльшей вредности холодного излучения светодиодов в сравнении с другими светоизлучающими элементами, но речь идёт о долгом и непосредственном взгляде на источники света — экраны всевозможных устройств, что исключает осветительные приборы.

Так же стоит заострить внимание на человеческом факторе, т.е. на желание производителя удешевить свою продукцию. Ещё совсем недавно недорогие лампочки в китайских интернет-магазинах пользовались огромным спросом, поскольку в обычных магазинах они стоили в 2-4 раза дороже, и это как минимум. Но не зря говорят, что скупой платит дважды: именно такие китайские лампочки, к сожалению, от хорошего качества не страдали, и выходили (и продолжают выходить) из строя даже раньше иной лампы накаливания. Могли погаснуть и через месяц, и через полгода. И до кучи проблем — совершенных хаос в качестве света, полная непредсказуемость цветовой температуры света даже в одной партии. Вам запросто могли прислать «холодный» вместо заказанного «теплого белого», и головная боль по поводу замены товара растянулась бы на недели. Не удивляйтесь, если какая-то лампа будет жить долго, а другая из этой же партии откажет уже через несколько недель. Поэтому на первый план именно с такими лампами и выходит пресловутая гарантия: следите при покупке за тем, чтобы бесплатная замена по гарантии вышедшей из строя лампы была как минимум год. Еще лучше — три и более, но это уже для серьезных брендов, вроде OSRAM или Philips.

Однако стоит отметить, что не стоит пренебрегать российскими производителями: в последнее время отдельные компании обеспечивают высокую стабильность своей продукции и таким образом демонстрируют значительную заинтересованность в росте доверия покупателей.

Итак, насколько же сильно бытовые светодиодные лампочки могут сберечь экологию? В Республике Беларусь за год потребляется 36-37 млрд. кВт•ч электроэнергии, из них примерно 1,478 млрд. кВт•ч расходуется на освещение жилых зданий. Если не сильно доверять добросовестности производителя и заменить 50% наиболее удалённых от глаз ламп накаливания (в коридоре, ванной, на кухне) на светодиодные (для получения идентичной яркости замена производится на лампы с мощностью в 10 раз меньшей, чем мощность используемой ранее лампы накаливания), можно сберечь до 665 млн. кВт•ч. Это позволит сэкономить 186,3 тыс. т условного топлива (по данным Министерства энергетики Республики Беларусь удельный расход условного топлива в среднем по стране равен 0,2546 кг у.т./кВт•ч, а потери в сети 9,91 %). При данной экономии топлива в атмосферу не будет выброшено 163 436 тыс. м³ углекислого газа. В современных условиях приближающегося глобального потепления эта цифра является достаточно весомой, для приобретения себе домой светодиодных лампочек.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wikipedia.org>
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.by>
3. «Концепция применения светильников со светодиодами в целях реализации программы энергосберегающего освещения» А.Полищук - Компоненты и технологии № 11, 2007 г.

УДК 338.1 (476)

РАЗВИТИЕ ХОЛДИНГОВЫХ СТРУКТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Шавлис А.К.

Научный руководитель — старший преподаватель Кравчук Е.А.

Сегодня холдинги – объективная экономическая реальность в большинстве государств мира, включая Республику Беларусь.

Привлекательность холдингов во многом определяется такими общеизвестными возможностями, как:

- установление централизованного управления в холдинге;
- снижение предпринимательских рисков;
- перераспределение средств внутри холдинга;
- повышение эффективности бизнеса и обеспечение его динамичного развития.

Основной идеей формирования холдингов является создание системы экономических связей и финансового контроля через систему участия в имуществе дочерних компаний, то есть владения их акциями (долями в уставном фонде).

С момента вступления в силу Указа № 660 (1 апреля 2010 г.) холдингом признается только то объединение, которое зарегистрировано в установленном порядке в Министерстве экономики в качестве такового.

В соответствии с Указом можно выделить два вида холдингов.

Первый вид холдинга – это объединение коммерческих организаций, в котором одна из коммерческих организаций является управляющей компанией холдинга в силу возможности оказывать влияние на решения, принимаемые дочерними компаниями холдинга. Такая возможность у управляющей компании возникает на основании владения 25 процентами и более акций либо долей в уставных фондах дочерних компаний холдинга – хозяйственных обществ или обладания статусом учредителя по отношению к дочерним компаниям холдинга – унитарным предприятиям.

Второй вид холдинга представляет собой объединение коммерческих организаций, в котором управление дочерними компаниями либо участие в управлении дочерними компаниями осуществляет непосредственно собственник 25 и более процентов акций либо долей в уставных фондах этих компаний без образования управляющей компании холдинга.

Холдинг не является юридическим лицом. Его участниками могут быть только хозяйственные общества и (или) унитарные предприятия и не могут быть юридические лица, зарегистрированные в государствах, с которыми у Республики Беларусь отсутствует соглашение, предусматривающее обмен информацией по налоговым вопросам. Холдинг создается на основании решения управляющей компании холдинга или собственника. При этом Указом не предусматривается необходимость получения согласия дочерних компаний на вхождение в холдинг.

В Беларуси холдинги начали действовать с начала 1990-х годов. Их создание носило спонтанный характер. Первый белорусский холдинг был создан на базе ОАО «Амкодор». Он прошел длительный путь реорганизации. Из 90 предприятий, входивших в его состав ранее, сейчас являются самостоятельными около 40.

Наиболее ярким примером холдингов в Беларуси является нефтяная компания «Славнефть», созданная 26 августа 1994 года. В 2002 году «Славнефть» была продана. Победителем аукциона по продаже акций стала компания «Инвест-ойл», учрежденная «Сибнефтью» и ТНК.

В 2010 году был создан холдинг на базе ОАО «Горизонт» – минское предприятие, крупнейший в Беларуси и один из крупнейших в странах СНГ производитель потребительской электроники и бытовой техники. В его состав вошли 11 дочерних предприятий. Создание холдинга позволило «Горизонту» выделить отдельно производство, продажу и сервис продукции.

В Беларуси создан холдинг «Белстанкоинструмент». В его состав во главе с управляющей компанией ОАО «МЗОР» вошли 16 предприятий с общей численностью работающих, около 9,6 тыс. человек. Созданы холдинги «Автокомпоненты», «БелОМО», «БелавтоМАЗ», «Белорусская металлургическая компания».

Дальнейшее повышение эффективности деятельности холдингов в Республике Беларусь связано, прежде всего, с оптимизацией корпоративного управления данными структурами. Данное направление подразумевает организацию и проведение курсов повышения квалификации руководящих работников и специалистов.

Кроме того, необходимо четкое регламентирование требований к организационно-экономическому обоснованию создания холдинга и стратегии его развития, требований к совету директоров (наблюдательному совету) управляющей компании, а также совершенствование правовых основ деятельности холдингов: расширение условий создания и возможного субъектного состава холдингов, наделение профильного органа государственного управления полномочиями в части согласования процесса формирования холдинговых структур.

Литература

1. Мясникович М.В., Эволюционные трансформации экономики Беларуси/Минск «Беларуская навука» 2016 – 320 с.
2. http://www.economy.gov.by/ru/news/xolding-i-perspektivy-ego-razvitija_ti_10_000000676.html
3. <http://pravo.news/hozyaystvennoe-pravo-rossii-kniga/istoriya-vozniknoveniya-holdingov-23540.html>

УДК 338.22(476):334.012.3

РАЗВИТИЕ МАЛОГО БИЗНЕСА И СТИМУЛИРОВАНИЕ ДЕЛОВОЙ АКТИВНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Матвейчук Д.Н., Михно Н.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Кравчук Е.А.

Неотъемлемым условием эффективного развития практически любой страны является существование частного бизнеса, основу которого составляют малые предприятия. Так, в развитых странах их удельный вес в общем числе организаций составляет порядка 95-97%, а доля в ВВП достигает 50%. Структурные преобразования в экономике Республики Беларусь требуют формирования широкой прослойки субъектов малого бизнеса, способных конкурировать в отдельных сферах со средними и крупными предприятиями.

Малый бизнес, или малое предпринимательство, представляет собой совокупность мелких собственников, которые в силу своей массовости в значительной мере определяют социально-экономический и отчасти политический уровень развития страны.

Благодаря малому бизнесу решаются многие социально-экономические проблемы: создаются технологические инновации, повышается уровень занятости и стимулируется деловая активность населения, обеспечивая стабильность развития экономики. Эффективность работы субъектов малого бизнеса во многом определяется отношением государства к этому сектору.

К субъектам малого предпринимательства в Республике Беларусь относятся:

- индивидуальные предприниматели, зарегистрированные в Республике Беларусь;
- микроорганизации – зарегистрированные в Республике Беларусь коммерческие организации со средней численностью работников за календарный год до 15 человек включительно;
- малые организации – зарегистрированные в Республике Беларусь коммерческие организации со средней численностью работников за календарный год от 16 до 100 человек включительно [2].

По видам малого бизнеса различают производственную, коммерческую, финансово-кредитную и консалтинговую деятельности.

В настоящее время на долю микро- и малых организаций приходится 15,1% валового внутреннего продукта страны, 19,4% численности работников, 9,5% общего объема промышленного производства, 26,7% инвестиций в основной капитал, 27,9% объема внешней торговли товарами. В 2005 г. предприятиями малого бизнеса производилось всего 7,9% ВВП[3].

На 1 апреля 2015 г. в Республике Беларусь было зарегистрировано 365 тыс. 29 субъектов малого и среднего бизнеса, в том числе 102 тыс. 277 микро-, 12 тыс. 502 малых, 2 тыс. 481 средняя организация и 247 тыс. 769 индивидуальных предпринимателей. Для сравнения: в 2013 году доля малого предпринимательства в ВВП Беларуси составила 15,1%, что почти вдвое выше показателей 2007 года (8,3%).

Отраслевая структура малого предпринимательства неоднородна. Наибольшее количество малых предприятий в торговле, ремонте автомобилей, бытовых изделий и предметов личного пользования – 39,4%. В обрабатывающей промышленности сосредоточено 14,5%; в операциях с недвижимостью – 12,8 %, транспорте – 12,4 %, в строительстве – 9,2 %, в прочих видах деятельности – 8,7 %, сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве – 3,0% [3].

Сектор малого предпринимательства характеризуется неравномерным распределением по территории страны. Подавляющее число предприятий (36,4% от общего числа) работают в Минске, 18,1% - в Минской области; 10,4% - в Брестской; 9,6% – в Гомельской; по 8,7% - в Витебской и Гродненской; 8,1% - в Могилевской. Такое положение объясняется тем, что

Минск, как столица страны, является центром экономической жизни и предоставляет наибольшие возможности для успешного развития малого бизнеса.

В отчете Мирового банка и Международной финансовой корпорации (WorldBankandInternationalFinancialCorporation), озаглавленном «DoingBusiness 2014: UnderstandingRegulationsforSmallandMedium-SizeEnterprises», Беларусь заняла 63 место по созданию благоприятных условий для развития бизнеса, опередив Россию (92 место), Украину (112), Таджикистан (143), Узбекистан (146). А в 2015 году исследования проводимые группой Всемирного банка показали, что Республика Беларусь в совокупном рейтинге благоприятности ведения бизнеса - DoingBusiness-2015 - занимает 57 место среди 189 стран. Причем по таким позициям как регистрация собственности - 3 место, обеспечение исполнения контрактов – 7, регистрация предприятий – 40. А в отчете Всемирного банка «DoingBusiness-2016» Республика Беларусь заняла 44-е место среди 189 государств. В отчете в отношении Республики Беларусь зафиксированы две положительные реформы – сокращение общего срока государственной регистрации недвижимого имущества, а также введение для субъектов хозяйствования электронной государственной регистрации (показатель «Регистрация предприятий»). Упрощение правил вхождения в бизнес позволило улучшить рейтинговые позиции страны по показателю «Регистрация предприятий» сразу на 27 пунктов по отношению к предыдущему отчетному периоду[4].

Успешному развитию индивидуального предпринимательства в стране мешают административные барьеры: отсутствие стабильности в законодательстве в отношении предпринимателей; уровень защиты прав собственности и интересов частного бизнеса; большое количество налогов, их высокие ставки и частые изменения в отчетности, предоставляемой в налоговые органы; высокие размеры штрафов; большое количество проверок со стороны регулирующих органов; наличие ценового регулирования на ряд товаров и услуг; определенные сложности в лицензировании деятельности; валютное регулирование; высокие арендные ставки; ставки на заемные средства со стороны банков и других финансовых организаций.

Программой государственной поддержки малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь на 2016 – 2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Беларуси от 23 февраля 2016 № 149, предусматривается стимулирование развития деловой активности, устранение административных барьеров, препятствующих ведению бизнеса, повышение эффективности функционирования и развитие инфраструктуры поддержки малого и среднего предпринимательства, а также увеличение доли малого и среднего предпринимательства в ВВП до 32 процентов и удельного веса занятых в микроорганизациях, малых и средних организациях (без внешних совместителей), а также индивидуальных предпринимателей и привлекаемых ими наемных лиц в общей численности занятых в экономике Республики Беларусь в размере 35 процентов[1].

Для достижения названных показателей предусматривается реализация порядка 30 мероприятий, сгруппированных следующим образом:

- институциональное развитие предпринимательской деятельности;
- повышение роли малого и среднего бизнеса в модернизации экономики;
- развитие конкуренции;
- упрощение администрирования и налогообложения;
- совершенствование национальной системы делового образования.

В Республике Беларусь активно осуществляется государственная поддержка развития малого бизнеса. Каждый год увеличивается количество субъектов инфраструктуры, таких как центры поддержки предпринимательства, инкубаторы, инновационные центры, общества взаимного кредитования, фонды финансовой поддержки и т.д. Также осуществляется финансовая, имущественная и информационная поддержка субъектов предпринимательства, оказывается содействие безработным в организации предпринимательской деятельности, широко вовлекаются в предпринимательскую деятельность социально-незащищенные группы населения посредством проведения семинаров, круглых столов с участием

руководителей малых и средних предприятий республики, а также поддерживается развитие стартап-движения в Республике Беларусь с последующим развертыванием сети стартап-школ и др.

Основными рекомендациями для повышения эффективности работы бизнес союзов необходимо улучшение текущей ситуации по следующим направлениям:

- улучшение взаимоотношений с властями (в частности местными органами власти), инициирование более продуктивного диалога;
- более активное участие в разработке концепции инструментов и механизмов развития бизнеса;
- улучшение материального снабжения общественных организаций;
- повышение информационного представления о специфике и результатах деятельности бизнес ассоциаций с целью привлечения новых членов.

Это в свою очередь позволит более эффективно представлять интересы малого бизнеса, потому как будет служить своего рода фундаментом и позволит частной инициативе ощущать себя достаточно защищенно в вопросе отстаивания своих интересов.

Реализация данных мероприятий будет способствовать дальнейшему развитию малого бизнеса в Республике Беларусь, увеличению числа малых и микроорганизаций, повышению их удельного веса в основных социально-экономических показателях страны. Это, в конечном итоге, должно привести к структурной перестройке экономики, повышению эффективности ее функционирования. Чем более благоприятные рыночные условия создает государство, тем активнее функционирует и развивается сектор малого предпринимательства, что благоприятно сказывается на всей экономике.

Литература

1. Государственная программа поддержки малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь на 2016-2020 годы [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.economy.gov.by/ru/small_business/state-support-for-small-business.
2. Закон Республики Беларусь «О поддержке малого и среднего предпринимательства от 1 июля 2010 г. № 148-З» [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=N11000148&p2={NRPA}>.
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>.
4. Рейтинг экономик [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://russian.doingbusiness.org/rankings>.

УДК 620.92

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Цвирко А.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Сегодня, на фоне постоянных повышений стоимости на энергоносители и электроэнергию, весьма актуальным становится вопрос о строительстве энергоэффективного жилья.

Энергоэффективный дом - это сооружение, которое отличается отсутствием необходимости отопления или малым энергопотреблением.

Преимущества строительства «энергоэффективного дома»:

Во-первых, экономичность, так как не нужно тратиться на установку сетей центрального отопления и газа, а затраты электрической энергии на отопление таких домов в 7-12 раз меньше, чем в кирпичных домах традиционной постройки.

В настоящее время стоимость постройки энергосберегающего дома примерно на 8-10 % больше средних показателей для обычного здания. Дополнительные затраты на строительство окупаются в течение 7-10 лет. При этом нет необходимости прокладывать внутри здания трубы водяного отопления, строить котельные, ёмкости для хранения топлива и т. д.

Во-вторых, энергобезопасность в связи с отсутствием сетей газа и теплоцентралей.

В-третьих, энергонезависимость в виду того, что эти дома обладают массивными несущими стенами, это способствует хорошей аккумуляции тепла и децентрализации энергоснабжения.

В-четвертых, экологичность обеспечивается тем, что в зданиях, построенных по данной технологии, применяются современные строительные материалы и конструкции, а также новейшее инженерное оборудование.

На данный момент в мире существует следующая классификация зданий в зависимости от их уровня энергопотребления:

- «Старое здание» (здания построенные до 1970-х годов) — они требуют для своего отопления около трехсот киловатт-часов на квадратный метр в год: $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$.

- «Новое здание» (которые строились с 1970-х до 2000 года) — не более $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$.

- «Дом низкого потребления энергии» (с 2002 года в Европе не разрешено строительство домов более низкого стандарта) — не более $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$.

- «Пассивный дом» — не более $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$.

- «Дом нулевой энергии» (здание, архитектурно имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но инженерно оснащенное таким образом, чтобы потреблять исключительно только ту энергию, которую само и вырабатывает) — $0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$.

- «Дом плюс энергии» или «активный дом» (здание, которое с помощью установленного на нём инженерного оборудования: солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров, грунтовых теплообменников и т. п. вырабатывало бы больше энергии, чем само потребляло).

При строительстве энергоэффективного жилья экономия электроэнергии может быть достигнута за счет использования солнечных панелей (батарей); экономия тепла – за счет теплоизоляции (каменная вата, термоленты и т.д.) и тепловых насосов (грунтовый тепловой насос скважинного типа, грунтовый тепловой насос горизонтального типа, тепловой насос воздушного типа, тепловой насос водного типа). Повышение экологической безопасности может быть достигнуто при внедрении новых систем вентиляции и рекуперации, которые позволяют сохранить до 25 % тепла.

Директива энергетических показателей в строительстве (Energy Performance of Buildings Directive), принятая странами Евросоюза в декабре 2009 года, требует, чтобы к 2020 году все новые здания были близки к энергетической нейтральности.

В США стандарт требует потребления энергии на отопление дома не более 1 BTU (британская термическая единица) на квадратный фут помещения.

В Великобритании энергоэффективный дом должен потреблять энергии на 77 % меньше обычного дома, в Ирландии - на 85 % меньше, и выбрасывать в атмосферу CO₂ на 94 % меньше обычного дома.

Новые дома Испании с марта 2007 года должны быть оборудованы солнечными водонагревателями, чтобы самостоятельно обеспечивать от 30 % до 70 % потребностей в горячей воде, в зависимости от места расположения дома и ожидаемого потребления воды. Нежилые здания (торговые центры, госпитали и т. д.) должны иметь фотоэлектрическое оборудование.

В нынешнем столетии место и роль Республики Беларусь в мировой экономике в условиях, когда практически отсутствуют собственные источники углеводородного сырья и металлов, будут во многом определяться уровнем ее научно-технического развития.

С каждым годом в стране в связи с ростом промышленного производства и вводом новых объектов недвижимости увеличиваются расходы на электричество, отопление, воду и другие ресурсы. В этой связи проблема энергосбережения для республики становится все более актуальной. Во всем мире ведется поиск путей уменьшения энергопотребления за счет его рационального использования. Республика Беларусь тоже не исключение. Результатом Республиканской программы энергосбережения на 2011–2015 гг. стало снижение энергоемкости ВВП на 50 % к уровню 2005 г. и увеличение доли местных топливно-энергетических ресурсов в балансе котельно-печного топлива до 28 %.

За счет строительства энергоэффективных зданий и перехода на новые нормативы в 2016-му году предполагается достичь экономии ТЭР на 300 тыс. тонн условного топлива (1 млн до 700 тысяч). Окупаемость затрат по строительству энергоэффективных домов возвращается где-то в пределах 10 лет.

Одним из примеров успешной практики энергосберегающей реконструкции здания в Беларуси является жилой дом по ул. Гвардейская в Минске. Были выполнены следующие работы: замена окон и внутренних инженерных коммуникаций, теплоизоляция внешних ограждающих конструкций здания и остекление балконов. Общая площадь данного дома была увеличена на 25% путем надстройки дополнительного этажа (мансарды) в двух уровнях, в котором дополнительно размещены 19 квартир.

Надстройка мансард в существующих зданиях обходится дешевле, чем строительство новых многоэтажных жилых зданий, а также повышает энергоэффективность домов. В то же время, эту меру можно рассматривать как улучшение жилищных условий, поскольку наличие в здании семи этажей или более предполагает оснащение здания мусоропроводом и лифтом.



Рисунок 1. Жилой дом по ул. Гвардейская до и после реконструкции

Примером успешной практики в области нового строительства является энергоэффективный жилой дом по ул. Притыцкого, в Минске, который был построен в 2007 году в качестве первого энергоэффективного здания в Минске.

Это девятиэтажное панельное здание с четырьмя подъездами, 145 квартирами и общей площадью 10 000 м² представляет собой типовую жилую новостройку в Беларуси. Заказчиком проекта является строительная компания МАПИД, а компанией-проектировщиком – «Институт жилища – НИПТИС им.Атаева С.С.».

Применялись следующие технические решения:

1. неоднородное термическое сопротивление наружных стен, что позволяет выровнять тепловые потери в различных квартирах и частях здания и получить ежегодную экономию до 10 кВт-ч/м², по сравнению со стандартными зданиями,

2. система принудительной вентиляции с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов в квартирах, что возвращает около 90% тепла вентиляционных выбросов и добавляет еще 20 кВт-ч/м²,

3. окна с сопротивлением теплопередаче более 1,2 м²*°C/Вт, что позволяет ежегодно экономить до 11 кВт-ч/м², по сравнению со стандартными окнами.



Рисунок 2. Энергоэффективный дом по ул. Притыцкого

В здании применена система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла уходящего воздуха. Уровень воздухообмена регулируется индивидуально в каждой квартире. Рекуператоры воздуха установлены на застекленных лоджиях. Среднее значение удельного расхода тепла на отопление этого дома за четыре года эксплуатации составило 37 кВт-ч/м². Жильцы дома платят за центральное отопление в 2-4 раза меньше, чем в зданиях аналогичной серии неэнергоэффективного формата.

Среди других новостроек также есть примеры успешной практики, например, энергоэффективный многоквартирный жилой дом в районе Уручье в Минске. Внешняя стена здания оснащена вентилируемым фасадом и имеет сопротивление теплопередаче 3,2 м²*°C/Вт. Термическое сопротивление окон немного меньше, чем требуется по нормам (при норме 1,0 м²*°C/Вт, окна имеют 0,77 м²*°C/Вт). Специальные стеклопакеты с двойным остеклением изготовлены из двух полотен низкоэмиссионного стекла. При осмотре с близкого расстояния, окна немного темнее обычных, что обеспечивает энергосберегающий эффект: летом солнечное тепло не проникает в квартиру, а зимой, наоборот, тепло сохраняется внутри помещения. В здании практически нет мостиков холода. Чердак хорошо теплоизолирован, его сопротивление теплопередаче составляет 6,0 м²*°C/Вт. Удельное потребление тепла в данном здании составляет около 40 кВт*ч/м², что в 3-4 раза ниже, чем в соседних многоквартирных жилых домах.

На жилищный сектор в Беларуси приходится около одной четверти потребления электроэнергии и более 40% потребления тепла в стране. Учитывая низкую энергоэффективность большинства зданий, потенциальная возможность экономии энергии в жилом секторе очень высока. Большой эффект может быть достигнут, в частности, с помощью тепловой реабилитации внешних ограждающих конструкций здания и повышения

эффективности энергоснабжения зданий. Для реализации потенциала экономии энергии необходимы инвестиции, а также изменение подхода различных заинтересованных сторон.

Литература

1. Углубленный обзор политики и программ в сфере энергоэффективности: Республика Беларусь. Секретариат энергетической хартии 2013 г. – URL: www.encharter.org

УДК

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛеноЙ» ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

ЧигаК С.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

В 1992 году была принята Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию, на которой Организацией Объединенных Наций был принят программный план действий устойчивого развития в XXI веке. Программный план был направлен на достижение двух целей - высокого качества окружающей среды и здоровой экономики для всех народов мира. 20-22 июня 2012 года, через 20 лет после принятия Декларации Рио состоялась Конференция Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию, также известная под названием «Рио+20». В результате Рио+20 все страны подтвердили обязательства по поэтапному отказу от субсидий на ископаемое топливо.

По определению «Зеленая» экономика - результат повышения благосостояния людей и социальной справедливости при существенном сокращении экологических рисков и экологического дефицита (ограниченности) (определение Программы ООН по окружающей среде (UNEP). «Зеленая» экономика - модель экономического развития, основанная на устойчивом развитии и знании экономики окружающей среды (определение Организации экономического сотрудничества и развития). «Зеленая» экономика заботится не только о росте капитала и возобновлении трудовых ресурсов и информации, но также возобновляет землю (природные ресурсы) как фактор производства.

Для этого в экономике необходимо:

1) создать условия и осуществлять действия для того, чтобы земля самовосстанавливалась: обеспечивалась экосистемная устойчивость природных систем, которые поддерживают наше существование;

2) улучшать ресурсоэффективность, снижая, таким образом, воздействие окружающей среды на отрасли экономики и индивидуальную деятельность человека. Концепция «зеленой» экономики:

1) государственная поддержка и частные инвестиции направляются на распространение знаний, реализацию инициатив, создание технологий и производств, способствующих снижению выбросов углерода и уровня загрязнения;

2) на основе «зеленых» технологий, предполагающих более глубокую переработку отходов, снижение энергопотребления или использование альтернативной энергии возникают новые, «зеленые» сектора экономики, «зеленые» рабочие места. Более глубокое использование сырья приводят к снижению себестоимости выпуска «зеленой» продукции и увеличению прибыли на «зеленых» производствах по сравнению с традиционными, обуславливают возможность установления более высокой оплаты труда. В результате возникают социальные стимулы к перетеканию трудовых ресурсов в «зеленые» сектора экономики, и снижается бедность;

3) повышение энергоэффективности приводит к снижению потребности в сжигаемом топливе и снижению выбросов углерода. Это важное условие для самовосстановления природных ресурсов;

4) повышение ресурсоэффективности приводит к снижению образования отходов, снижению уровня загрязнения окружающей среды, обеспечивает устойчивое существование такого сектора экономики в течение длительного периода, сохраняет условия для поддержания биоразнообразия, ведения органического домашнего хозяйства, повышающего доступ к локальным природным ресурсам и снижающего бедность, развития экосистемных услуг для жителей стран, утративших их. Таким образом, концепция «зеленой» экономики разработана в развитие концепции устойчивого развития, подчеркивая важность улучшения устойчивости мировой экономики.

В «Руководстве по вопросам «зеленой» экономики», которое было опубликовано в сентябре 2012 года, предоставлен краткий обзор шести принципов «зеленой» экономики. Шесть принципов «зеленой», справедливой и инклюзивной экономики таковы:

- 1) Справедливость и объективность, как в рамках одного поколения, так и между поколениями;
- 2) Согласованность с принципами устойчивого развития;
- 3) Превентивный подход к социальным воздействиям и воздействиям на окружающую среду;
- 4) Оценка природного и социального капитала, например, интернационализации внешних расходов, зеленого учета, расходов на протяжении всего срока эксплуатации и совершенствования управления;
- 5) Устойчивое и эффективное использование ресурсов, потребление и производство;
- 6) Потребность в достижении существующих макроэкономических целей посредством создания «зеленых» рабочих мест, искоренения нищеты, повышения конкурентоспособности и роста в ключевых секторах.

Основные инструменты «зеленой» экономики:

1) Эко-инновации. «Эко-инновации» - инновационная продукция и процессы, которые способствуют снижению воздействия на окружающую среду и поддержанию «стабильной производительности и потребления». Эко-инновации связаны с возникновением новых видов экономической деятельности или даже новых отраслей экономики (например, переработка отходов, повторное использование и т.д.).

2) Введение практик эко-маркировки/эко-дизайна/энергоэффективности в промышленное производство. Эко-маркировка - комплекс сведений экологического характера о продукции, процессе или услуге в виде текста, отдельных графических, цветовых символов (условных обозначений) и их комбинаций. Он наносится в зависимости от конкретных условий непосредственно на изделие, упаковку (тару), табличку, ярлык (бирку), этикетку или в сопроводительную документацию. Эко-маркировка информирует покупателей об экологических свойствах продукции и не только. Эко-маркировка позволяет идентифицировать продукцию, соответствующую определенным требованиям и сделать выбор о её приобретении. Активность - рациональное использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Эта отрасль знаний находится на стыке инженерии, экономики, юриспруденции и социологии. В отличие от энергосбережения (сбережение, сохранение энергии), главным образом направленного на уменьшение энергопотребления, энергоэффективность направлена на поиск полезного (эффективного) расходования энергии.

3) Органическое сельское хозяйство (фермерство). Органическое сельское хозяйство (фермерство) - это система производства, которая способствует оздоровлению почв, экосистем и населения. Оно полагается на экологические процессы, биоразнообразие и циклы, адаптированные к местным условиям, а не на использование факторов производства, оказывающих неблагоприятное воздействие. Органическое сельское хозяйство объединяет в себе традицию, инновации и науку с целью принести пользу окружающей среде и способствовать продвижению справедливых отношений и хорошего качества жизни всех вовлеченных.

В 2012 году Министерство экономики представило «Национальный доклад об устойчивом развитии Республики Беларусь, основанный на принципах «зеленой» экономики», который определил белорусскую модель устойчивого развития и направления «озеленения» экономики. Доклад был разработан одновременно с подготовкой к конференции «Рио+20». Перечисленные ниже приоритеты связаны с социальными,

экологическими и экономическими аспектами устойчивого развития, так как "зеленая" экономика направлена на получение многократных преимуществ по всем этим аспектам:

- энергобезопасность (поддерживается повышением энергоэффективности);
- продовольственная безопасность ;
- адаптация к изменению климата (водное хозяйство, сельское хозяйство);
- улучшение управления отходами (бытовые отходы все еще являются большой проблемой);
- увеличение объема экспорта (поддерживается инновациями);
- развитие сектора малых и средних предприятий;
- увеличение продуктивности и прибыльности (обрабатывающая промышленность, сельское хозяйство);
- гармонизация стандартов и законодательства с европейскими стандартами и законодательством;
- восстановление территорий, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, и их использование.

Существует много возможностей «озеленения» экономического роста в Беларуси. Законодательство Беларуси развивается в сторону гармонизации с европейским законодательством, и некоторые важные меры для этого были или скоро будут приняты. Более того, инвестиции в экологическую инфраструктуру, и особенно в водоснабжение и канализацию, а также в обращение с отходами, являются важными элементами экономического развития.

На стратегическом уровне в Беларуси хорошо развита система политик, программ и планов. Были предприняты важные шаги: экологические принципы были введены в национальную экономику, снизив экологические риски и создав условия для улучшения уровня жизни населения. Чтобы достичь целей устойчивого развития, Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (НСУР-2020) определила области развития для основных компонентов белорусской модели: экономика, окружающая среда и социальная сфера. На ближайшую перспективу направления реализации принципов «зеленой» экономики в Беларуси таковы:

1. Дальнейшее развитие природоохранного законодательства и применение наиболее успешных практик в вопросах управления воздухом, водой, почвами и обращения с отходами.
2. Расширение сектора органического сельского хозяйства, введение сертификатов на органическую продукцию в стране и увеличение импорта органической продукции.
3. Продвижение решений по эко-инновациям, основанным на высоком исследовательском потенциале Республики Беларусь.
4. Использование законодательных и экономических инструментов для смягчения последствий изменения климата и поддержки мер по адаптации к изменениям климата.
5. Введение мероприятий по энергоэффективности в городах Республики Беларусь.
6. Привлечение прямых иностранных инвестиций и создание «зеленых» рабочих мест.

Литература

1. http://www.greenlogic.by/about_green.html

УДК 620.92

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОАКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ

Хвесько А.Д.

Научный руководитель - к. э. н., доцент Нагорнов В.Н.

Главными направлениями повышения энергосбережения являются внедрение принципиально новых типов конструкций зданий, а также использование эффективных теплоизоляционных материалов. Речь идет как о современных методах строительства новых зданий жилого и производственного назначения, так и о комплексном переустройстве уже существующих зданий.

Исзуемая тема имеет очень высокую актуальность, так как от рациональности использования энергоресурсов напрямую зависит развитие и экономический успех любого государства. Новейшие энергосберегающие технологии в строительстве помимо экономии финансовых ресурсов, открывают и принципиально новые возможности для снижения выбросов в атмосферу вредных веществ, которые образуются при обогреве и охлаждении зданий. Энергосберегающие технологии представляют собой более выгодный и экологически грамотный способ обеспечения, растущего с каждым годом спроса на энергоносители.

Эксплуатация любого здания связана с расходом необходимой энергии для отопления, вентиляции, нагрева воды, освещения и питания различных бытовых приборов. Мы используем энергию в виде тепла и теплоносителей: газа, жидкого топлива и электроэнергии. Оплата за энергию представляет собой основную часть расходов по содержанию здания, причем эта часть расходов имеет постоянную тенденцию к росту цен. Оплата зависит от расхода энергии, а расход может быть низким, если здание спроектировано и построено по энергосберегающим правилам.

Одним из важнейших достоинств альтернативной энергетики является ее экологичность: процесс получения энергии от возобновляемых источников не сопровождается образованием загрязняющих окружающую среду отходов, не ведет к разрушению естественных ландшафтов, практически исключает опасные для биологических субстанций аварийные ситуации, т.е. никак не угрожает экологическому равновесию экосистем. Исключение составляет использование биомассы, предполагающее получение энергии посредством традиционного сжигания твердого биотоплива-концентрата и биогаза, в результате чего образуются углекислые соединения, способствующие усилению "парникового" эффекта в атмосфере; кроме того, использование биогаза, содержащего до 70% метана, требует усиленных мер обеспечения безопасности.

Возвращаясь к активным средствам использования энергии природной среды, необходимо отметить экономическую и энергетическую целесообразность максимально возможного "сращивания" используемых технических и архитектурно-конструктивных средств, например, в виде совмещения конструкций стен (крыш) и гелиоколлекторов, включением ветрогенераторов в объемную структуру здания и т.п. Такие решения, основанные на принципе совмещения конструктивных элементов зданий и энергетических установок, позволяют снизить стоимость объекта на 25-35%.

В ходе разработки принципиально новых типов небольших энергоактивных зданий с крышной ветроэнергетической установкой гелиоидного типа, имеющей вертикальную ось вращения, авторами ведется поиск их оптимальных архитектурно-технических решений. Под небольшими ветроактивными зданиями подразумеваются здания, которые способны получать, как минимум, всю требующуюся для их эксплуатации энергию (без учета повышенного расхода технологической энергии в некоторых производственных зданиях) за счет расположенной над ними одной вертикально-осевой гелиоидной ветроустановки (одно- или двухъярусной) с оптимальной для данного типа ветротехники мощностью генератора (не более 30 – 50 кВт) и экономически целесообразной тепловой гелиосистемы. Пока

предлагаемые объекты, которые ассоциируются больше с энергетическими сооружениями, чем собственно со зданиями, воспринимаются даже многими специалистами некоторым скептицизмом. Вместе с тем спрос на рассматриваемые постройки должен появиться тогда, когда приоритетной задачей станет достижение максимально возможной энергоэффективности и экологической чистоты зданий.

Великобритания представила свой первый дом с нулевым уровнем выбросов, который установит ряд экологических стандартов для всех энергонезависимых домов в будущем. Двух-комнатный дом полностью изолирован. Потеря тепла составляет менее 60% , по сравнению с обычным домом. Дом также способен производить собственную энергию из панелей солнечных батарей, биомассы и специального устройства котлов с водой .Энергонезависимый дом способен.

В Европе индустрия строительства энергоэффективных и пассивных зданий достаточно развита в ряде стран. Например, в Германии, Австрии, Дании и других. Так в Европе возведено уже несколько десятков тысяч таких домов. Они доступны обычным потребителям, так как разница в затратах между строительством энергоэффективного и обычного дома составляет 10-15%, а счета за энергию сокращаются в несколько раз. Таким образом, выбор в пользу энергоэффективного дома часто становится даже выгоден потребителю.

Район VIIKKI (Хельсинки, Финляндия) — новый взгляд на энергосбережение и экологию. Район VIIKKI представляет собой экологически чистую территорию сельского типа площадью 1132 га, которая частично использовалась для научных экспериментальных целей Технологическим Университетом Хельсинки. Строительство демонстрационного энергоэффективного района EKOVIIKKI осуществлялось в соответствии с программой Европейского сообщества Thermie, которая включает в себя 9 различных европейских экспериментальных проектов.

Одной из основных задач, сформулированных в концепции развития строительного комплекса Республики Беларусь на 2011–2020 гг., является строительство энергоэффективных жилых домов, объемы которого к 2015 г. намечено довести до 6 млн. м² , что составит около 60 % от общей площади вводимых зданий. Удельное потребление тепловой энергии на отопление таких зданий не должно превышать 60 кВт •ч на 1 м² в год и в перспективе до 2020 г. – до 30–40 кВт •ч на 1 м² в год. В глобальном масштабе – это один из способов оптимизации топливно-экономического баланса страны, поскольку на отопление и горячее водоснабжение жилого фонда Республика Беларусь потребляет около 35 %–40 % энергоресурсов страны.

Институтами «Гродногражданпроект», «Гомельгражданпроект» и «Витебскгражданпроект» при участии и научном сопровождении НИПТИС разработаны проекты энергоэффективных зданий для строительства в Гомеле, Гродно и Витебске. При возведении экспериментального дома в Минске были отработаны технические решения по снижению уровня затрат тепловой энергии на его отопление до 30 кВт•ч/м² в год без изменения существующих планировочных решений здания серии 111-90 МАПИД и без модернизации технологического оборудования на предприятии.

В современных условиях при выборе средств использования энергии природной среды решающее значение приобретают их потребительские качества - стоимость и простота эксплуатации. Таким образом, энергосбережение сейчас становится одним из основных приоритетов в деятельности любой компании. Эффект от внедрения данных технологий затрагивает не только строительные организации, но и конечного владельца дома, офисного здания или торгового центра. Инвесторы, участвуя в подобных энергосберегающих проектах, получают возможность по-настоящему выгодных инвестиций.

Энергоэффективность должна стать ключевым фактором на стадиях проектирования, строительства, инспектирования и продажи новых жилых и коммерческих зданий. Необходимо создать потенциал для усиленного мониторинга выполнения и соответствия стандартам энергоэффективности.

Литература

1. «Строительство энергоэффективных зданий» В.Пилепенко, Л.Данилевский, 2010
2. www.sciteclibrary.com Аналитические обзоры «Энергоэффективное строительство», Жуков Д.Д., Лаврентьев Н.А.
3. «Энергоактивные здания»Н.П. Селиванов, А.И. Мелуа, С.В. Зоколей и др.-Стройиздат, 1988.
4. « Глобальные экологические проблемы тепловой электроэнергетики и цементного производства»..Абрамсон Н.Г.,2012.

УДК 620.311

УЧЁТ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Наумович А.С.

Научный руководитель – к. э. н., доцент Манцерова Т.Ф.

На предприятиях электро- и теплоэнергетики учёт затрат осуществляется по следующим видам экономической деятельности:

- производство электроэнергии;
- передача электроэнергии;
- распределение электроэнергии
- производство теплоэнергии;
- передача и распределение теплоэнергии.

К объектам по производству электрической(тепловой) энергии относятся все генерирующие источники независимо от установленной мощности со следующей классификацией:

1. Электростанции высокого давления;
2. Электростанции среднего давления;
3. Генерирующие источники с использованием возобновляемых видов энергии;
4. Котельные.

К объектам по передаче электроэнергии относятся электросетевые объекты передающей электрической сети. К объектам по распределению электроэнергии относятся электросетевые объекты распределительной электрической сети.

К объектам по передаче и распределению тепловой энергии относятся объекты тепловой сети, включающие в себя совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии.

Согласно инструкции о порядке планирования и калькулирования затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения республиканскими унитарными предприятиями электроэнергетики, входящими в состав государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго», утвержденной Постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 24.12.2013 № 51 планирование и калькулирование затрат на оказание услуг по электроснабжению и теплоснабжению РУП-облэнерго осуществляется на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии.

Полезный отпуск включает электрическую и (или) тепловую энергию, отпущенную потребителям в соответствии с заключенными с ними РУП-облэнерго договорами и энергию, отпущенную на рынок перетоков для внутреннего потребления в Республике Беларусь. Валовый отпуск включает полезный отпуск, а также отпуск в пределах РУП-облэнерго на прочие виды экономической деятельности, в том числе непромышленные.

Планирование и калькулирование затрат на валовый и полезный отпуск электрической и тепловой энергии заключается в расчете экономически обоснованного уровня затрат, необходимых для производства, передачи, распределения и продажи электрической и тепловой энергии с учетом структуры РУП-облэнерго, особенностей энергетического производства, государственного регулирования тарифов на электрическую и тепловую энергию. Осуществляется на основе норм и нормативов расходования топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР) на электрических станциях, котельных, электрических и тепловых сетях, материальных и трудовых затрат.

Расчетными показателями при планировании и калькулировании затрат на оказание услуг электроснабжения и теплоснабжения являются:

1 кВтч электрической энергии, отпущенной с шин электрической станции;

1 Гкал тепловой энергии, отпущенной с коллекторов электрической станции и котельной;

- 1 кВтч валового отпуска электрической энергии в целом по РУП-облэнерго;
- 1 кВтч полезного отпуска электрической энергии в целом по РУП-облэнерго;
- 1 Гкал валового отпуска тепловой энергии в целом по РУП- облэнерго;
- 1 Гкал полезного отпуска тепловой энергии в целом по РУП-облэнерго.

Согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 17 марта 2014 г. № 222 «Об утверждении Положения о порядке формирования цен(тарифов) на природный и сжиженный газ, электрическую и тепловую энергию установлен порядок формирования базовых тарифов на электрическую и тепловую энергию».

Необходимая выручка от отпуска электрической и тепловой энергии формируется энергоснабжающими организациями в целом по регулируемым видам деятельности, в том числе от отпуска электрической и тепловой энергии и включает планируемые на расчетный период регулирования:

- затраты на производство, передачу, распределение и продажу электрической и тепловой энергии, в том числе:

себестоимость полезного отпуска электрической и тепловой энергии;

управленческие расходы, относимые на стоимость полезного отпуска электрической и тепловой энергии.

- необходимую прибыль от отпуска электрической и тепловой энергии по регулируемым видам деятельности.

Расчет себестоимости электрической и тепловой энергии осуществляется на основании плановых балансов электрической и тепловой энергии на расчетный период регулирования.

При формировании плановых балансов электрической и тепловой энергии ГПО «Белэнерго» исходя из экономической целесообразности выработки электрической энергии на собственных источниках определяется необходимый объем покупки электрической энергии на рынке перетоков, который доводится до энергоснабжающих организаций.

Планируемая на расчетный период регулирования себестоимость электрической и тепловой энергии включает:

1. переменные затраты, в том числе:

1.1 затраты на топливо на технологические цели, рассчитываемые исходя из нормативов удельного расхода условного топлива на отпуск с шин 1 кВт·ч электрической энергии и отпуск с коллекторов 1 Гкал тепловой энергии, утверждаемых в установленном законодательством порядке;

плановой структуры расхода топлива на технологические цели;

планируемых цен на топливо;

метода распределения удельного расхода условного топлива при производстве электрической и тепловой энергии в режиме комбинированной выработки такой энергии.

1.2 затраты на покупную энергию.

2. условно постоянные затраты, в том числе:

2.1. затраты на эксплуатационно-ремонтное обслуживание;

2.2. затраты на топливно-энергетические ресурсы, приобретаемые для хозяйственных нужд у сторонних организаций;

2.3. затраты на транспортировку тепловой энергии по сетям других юридических лиц (включаются в себестоимость тепловой энергии);

2.4. затраты на оплату труда, относимые на себестоимость в соответствии с законодательством и учетной политикой энергоснабжающих организаций;

2.5. отчисления на социальные нужды, рассчитываемые исходя из размеров обязательных страховых взносов и взносов на профессиональное пенсионное страхование, уплачиваемых в соответствии с законодательством в государственный внебюджетный фонд социальной защиты населения Республики Беларусь, и затрат на оплату труда, относимых на себестоимость электрической и тепловой энергии;

2.6. амортизацию основных средств и нематериальных активов, рассчитываемую в установленном законодательством порядке;

2.7. прочие затраты, в том числе:

2.7.1 налоги, сборы (пошлины), включаемые в затраты по производству и реализации товаров (работ, услуг), имущественных прав, учитываемые при налогообложении, в соответствии с Налоговым кодексом Республики Беларусь;

2.7.2 комиссию банков за приобретение иностранной валюты;

2.7.3 взносы по видам обязательного и добровольного страхования, уплачиваемые в соответствии с законодательством;

2.7.3 оплату услуг оперативно-диспетчерского управления, связи, командировочные расходы и иные затраты;

3. налоговые вычеты по налогу на добавленную стоимость, приходящиеся на освобождаемые от налога на добавленную стоимость обороты по реализации электрической и тепловой энергии.

Управленческие расходы включают затраты на содержание управленческого персонала и хозяйственных служб энергоснабжающих организаций, амортизацию, ремонт и эксплуатацию основных средств управленческого и общехозяйственного назначения, вневедомственную охрану, содержание пожарных аварийно-спасательных служб, оплату услуг банков, отделений связи и других организаций, осуществляющих прием платежей от населения за потребленную энергию, информационные, аудиторские и другие аналогичные по назначению затраты.

Литература

1. Положение Совета Министров Республики Беларусь от 17 марта 2014 г. № 222 «О порядке формирования цен(тарифов) на природный и сжиженный газ, электрическую и тепловую энергию установлен порядок формирования базовых тарифов на электрическую и тепловую энергию».

УДК 621.311.24;621.548(075.8)

МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Шмакова А.Ю.

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

Ветроэнергетика – отрасль альтернативной энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Ветроэнергетике присущи все преимущества, характерные для альтернативной энергетики в целом (экологическая чистота, возобновляемость, низкие эксплуатационные затраты, отсутствие необходимости в органическом топливе).

Для Республики Беларусь энергия, получаемая от ветроэнергетических установок, является новым продуктом на старом рынке. Возможность преобразования энергии ветра в электрическую энергию для нашей страны возникла относительно недавно, но уже сейчас мы можем говорить о целесообразности этого решения.

Для маркетингового анализа ветроэнергетики можно использовать такое понятие как «Комплекс маркетинг 4P». Этот комплекс состоит из четырех основных понятий: товар, цена, место и продвижение. Рассмотрим каждое понятие в отдельности:

1. Товар. Активная электрическая энергия (далее – электрическая энергия) – материальный энергоресурс, производимый энергоисточником (в данном случае ветроэнергетической установкой, далее – ВЭУ) путем преобразования первичных природных топливно-энергетических ресурсов в упорядоченное движение электрических зарядов и электромагнитных полей – электрический ток, имеющий особые потребительские качества и физико-технические характеристики (одновременность производства, передачи (распределения) и потребления, невозможность складирования), которые определяют необходимость регламентации использования активной электрической энергии как товара.

К специфике товара «электроэнергии» можно отнести:

– невозможность хранения, ее должно производиться ровно столько, сколько потребуется и именно в определенное время;

– зависимость объемов производства электроэнергии исключительно от потребителей и невозможность увеличивать эти объемы от желания и инициативы производителей электроэнергии;

– необходимость планирования объемов производства и потребления энергии не только в расчете на год, но и на менее продолжительный период (сутки, час);

– при передаче электроэнергии невозможно ее передача в определенном направлении;

– является самой удобной формой энергии.

Электроэнергия имеет одинаковые качественные характеристики независимо от способа ее производства (атомная электростанция, тепловая электростанция, гидроэлектростанция, либо ВЭУ и т.д.). Она не претерпевает существенных качественных изменений на всех стадиях технологической цепочки (производство, передача, распределение), т.к. у конечного потребителя она должна быть именно того качества, которого требует его электроприемники.

Отличительной особенностью электроэнергии, производимой на ВЭУ является невозможность прогнозирования ее выработки. В связи с чем, для удовлетворения запросов потребителя (непрерывность снабжения) ВЭУ должны всегда резервироваться иными установками по производству энергии. Неоспоримым преимуществом электроэнергии, производимой ВЭУ, является ее возобновляемость и экологическая чистота.

2. Цена. Любая электроэнергия принимает форму товара и имеет стоимость. При этом электроэнергия является товаром социально значимым. Обходиться без нее в настоящее время невозможно, следовательно, цена должна быть доступной для потребителей. Стоимость электроэнергии формируется на основе затрат производства, передачи и распределения. Стоимость производства энергии отличается в зависимости от способа ее

генерации. Основными затратами производства энергии на тепловых электростанциях является топливо, на гидроэлектростанциях и ВЭУ – амортизационные отчисления, в первую очередь из-за дороговизны их сооружения.

Тарифы на энергию в Республике Беларусь устанавливает государство. При этом, во многих государствах существует рынок электрической энергии.

В большинстве стран мира энергию, получаемую при помощи возобновляемых источников энергии, стимулируют тарифными преференциями. Такая энергия, безусловно, должна быть куплена энергетическими компаниями и доставлена потребителям. В Беларуси энергию, производимую на ВЭУ, обязаны покупать государственные энергетические компании по тарифам, превышающим обычные тарифы.

3. Место. В Беларуси нет рынка электрической энергии. Поэтому вся энергия и мощность потребителю продается по заявительному (договорному) принципу по регулируемым тарифам. Однако часть электрической энергии закупается за пределами Республики Беларусь. При этом договора на поставку такой энергии заключаются на год вперед. Так же Беларусь продает часть электроэнергии.

В некоторых странах мира рынок электрической энергии и мощности успешно функционирует. Например, в России представляет собой двухуровневую систему – оптовый и розничный рынки. Субъектами оптового рынка являются генерирующие компании (продавцы энергии и мощности), сбытовые компании, сетевые организации, крупные потребители (покупатели электроэнергии и мощности).

На оптовом рынке торгуются два товара – электроэнергия и мощность. Плата за мощность покрывает постоянные расходы генерирующих компаний на поддержание оборудования в готовности вырабатывать необходимый объем электроэнергии по первому требованию покупателей. На оптовом рынке функционирует несколько секторов, различаются они условиями заключения сделок и сроками поставки. Существует сектор регулируемых договоров, сектор свободных договоров, рынок на сутки вперед (РСВ), балансирующий рынок (БР).

Рынок электроэнергии и мощности существует и в Европейском союзе. К примеру, в Европе функционирует несколько региональных рынков: Балтия; Северная Европа; Центральная Европа и т.д.

Наиболее развитой считается Скандинавская часть рынка Северной Европы, где торги электроэнергией проходят на бирже NordPool.

Всего на территории Европейского союза действует 9 основных бирж электроэнергии. На всех них торговля осуществляется, как и в России, на РСВ, на некоторых из них существуют внутрисдневные, балансирующие и фьючерсные рынки.

4. Продвижение. Ввиду своей специфичности, электрическая энергия как товар не нуждается в рекламе. Как отмечалось ранее, энергия должна быть произведена и потреблена в необходимых объемах и точно в срок. Единственным маркетинговым преимуществом является экологическая чистота энергии, произведенной на возобновляемых источниках энергии, в данном случае на ВЭУ. Но и при этом данное преимущество является чисто психологическим, т.к. энергия, произведенная на иных генерирующих установках, по своим потребительским качествам не отличается.

Литература

1. Дамбаева, Е. Ж. Электроэнергия как специфический товар / Е. Ж. Дамбаева // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2010. – №2. С. 78-81
2. Правила электроснабжения: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 17 окт. 2011 г., №1394 / Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. Минск – 2015.
3. Русан В.И. Возобновляемая Энергетика и энергетическая безопасность / В.И. Русан, Ю.С. Почанин, В.П. Нистюк / под ред. Русана В.П. – Минск: Энергопресс, 2014. – 646 с.