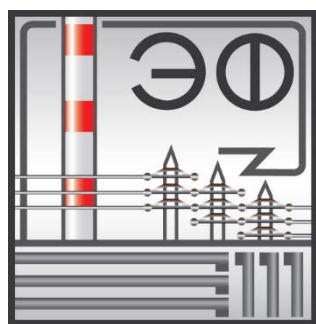


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 2020



Материалы студенческой
научно - технической
конференции

*Электронное научное
издание*

Минск 2020

УДК 620.9(06)

ББК 31 я 43

А 43

Р е ц е н з е н т

Директор ГУО «Центр повышения квалификации руководящих
работников и специалистов энергетики»

к.т.н., доцент В.В. Саранцев

В сборник включены материалы студенческой научно-технической конференции по секциям: «Электрические системы»; «Электроснабжение»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электроника и электротехника»; «Электрические станции»; «Тепловые электрические станции».

Белорусский национальный технический университет.

Энергетический факультет.

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

Тел.: (017) 293-92-16 Факс: 292-71 -73

E-mail: ef@bntu.by

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

Регистрационный № БНТУ/ЭФ43 – 102.2020

© Прокопеня И.Н. редак., компьютерный дизайн.

© БНТУ ЭФ, 2020

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

МОЛНИЕЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Макаревич В.Н.

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

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕРМОДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Мешкова А.Н., Калинин А.Н., Ломец Ю.А.

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

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Баран Ю.Г., Русецкий К.И., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

ИНФРОКРАСНАЯ ТЕРМОДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Русецкий К.И., Могильницкая А.А.

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

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ГИБКИЕ ПРОВОДА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Баран А.Г., Васильева А.А., Журкевич В.В., Туманов П.С., Зарихта К.С.

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

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТКZ15

Кецко Р.А.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Гаврилов Д.А., Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

**ТЕРМОМОНИТОРИНГ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ
EASERGY TH110 ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC**

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

**ФУНКЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ
В ТЕРМИНАЛАХ АВТОМАТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ**

Шавлюкевич Р.В.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

**ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЦЕПЕЙ СЛОЖНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ**

Арутюнов М.А., Гаврилов Д.А., Мешкова А.Н., Рябцев И.А., Хитев Н.Р.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климович П.И.

**СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИИ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ
ГЕНЕРАТОРА**

Соленик Г.Л.

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

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Максименко С.Ю., Пристромова К.С.

Научный руководитель – Андрукевич А.П.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ

Жиркова К.Ю., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

**КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПОМОЩИ
ДАТЧИКОВ CL110 ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC**

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

КОНЦЕНТРАТОР СИГНАЛОВ HARMONY HUB ZBRN

Волов Р.А., Русецкий К.И., Журкевич В.В.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

**ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
СЕТЕЙ 6–10 КВ**

Самцова Н.Ю.

Научный руководитель – Пузиновский В.Д.

ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Русакович А.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ МОЩНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шкуратов В.А.

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

3D-ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Мешкова А.Н., Арутюнов М.А.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И КАБЕЛЕЙ В ПЛАГИНЕ BIM ELECTRICAL DESIGN ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Хорошко Д.И.

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

ПРОГРАММА ТРЕНАЖЕР ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ В СХЕМАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ МИНСКОЙ ТЭЦ-3

Дядюк Н.В.

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

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ ШИНОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Смоляков Е.А.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Карпушонок К.А.

Научный руководитель – Пузиновский В.Д.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Гурнович М.С.

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

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Максименко С.Ю., Пристромова К.С.

Научный руководитель – Андрукевич А.П.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Мешкова А.Н., Арутюнов М.А.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Касьянович М.А.

Научный руководитель – Сапожникова А.Г.

ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ ОТ НАБЕГАЮЩИХ ВОЛН ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Козловский А.Ю.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС

Мангул Д.И.

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

РЕКЛОУЗЕРЫ

Баран Ю.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПЛАГИНЕ BIM ELECTRICAL DESIGN ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Доливайло А.А.

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

СИНТЕЗ ЧАСТОТНЫХ ВИХ-ФИЛЬТРОВ

Жиркова К.Ю., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Кондратеня В.А.

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

ОХЛАЖДЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ

Михеева А.В.

Научный руководитель – Потачиц Я.В.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Семенович Н.В.

Научный руководитель – Баран А.Г.

**РАЗНООБРАЗИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО
И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ MATLAB SIMULINK**

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – Климкович П.И.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

Шавлюкевич Р.В.

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

УДК 621.316.9

**МОЛНИЕЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

Макаревич В.Н.

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

Молниезащита элементов энергосистем (линий, подстанций и высоковольтных электрических машин) имеет важное значение для устойчивой работы изоляции. Поэтому меры и мероприятия по обеспечению приемлемой молниезащиты должны отвечать требованиям ПУЭ и Руководства по защите электрических сетей. С повышением класса напряжения линии, как правило, увеличиваются ее длина, высота опор, а, следовательно, и вероятность поражения линии молнией. Для сравнения эффективности различных мероприятий по грозозащите линий электропередачи применяется ряд критериев.

Уровень грозоупорности. Под «уровнем грозоупорности» понимают тот наибольший расчетный ток I_m в хорошо заземленном объекте, возникающий вследствие прямого удара молнии типичной формы, при котором еще не перекрывается изоляция линии. По изменению уровня грозоупорности можно оценить влияние отдельного параметра схемы (например, сопротивления заземления опоры) на грозоупорность линии.

Кривая опасных токов молнии. При ударе молнии в вершину опоры или в трос вблизи опоры необходимо учитывать не один параметр, а несколько, например, сопротивление заземления опоры и ее индуктивность. При этом напряжение на гирлянде изоляторов будет зависеть не только от амплитуды I_m , но и от крутизны I_m тока молнии. Связь между опасными сочетаниями I_m и I_m отражается кривой опасных токов. Эта зависимость в отличие от уровня грозоупорности позволяет оценить влияние не одной, а двух характеристик линии (например, сопротивления заземления и индуктивности опоры) на надежность грозозащиты.

Показатель надежности грозозащиты. С помощью показателя надежности грозозащиты можно получить приближенную оценку числа лет безаварийной работы, т. е. величину, обратную математическому ожиданию числа отключений линии в год. Показатель τ позволяет сравнить эффективность различных грозозащитных мероприятий и схем. При оценке показателя надежности грозозащиты линии учитывается зависимость перекрытия линии от законов распределения амплитуды и крутизны токов молнии, а также от места удара молнии. Поэтому эффективность грозозащиты сначала определяют отдельно для следующих расчетных случаев поражения линии (рисунок 1).

Удар молнии в провод во многих случаях вызывает прямое перекрытие гирлянды изоляторов, что может привести к отключению линии. При ударе молнии в грозозащитный трос вблизи опоры практически весь ток первоначально устремляется в землю через эту опору, и такой случай можно рассматривать как удар молнии непосредственно в опору. Удар молнии в среднюю часть пролета троса приводит к распределению тока между

соседними опорами, что облегчает условия работы гирлянд изоляторов. Однако при этом на тросе в месте удара могут возникнуть перенапряжения, создающие опасность перекрытия воздушного промежутка между тросом и проводом в середине пролета. При ударе молнии вблизи линии, возникающие индуктированные перенапряжения существенно влияют только на число грозовых отключений линий напряжением до 110 кВ.

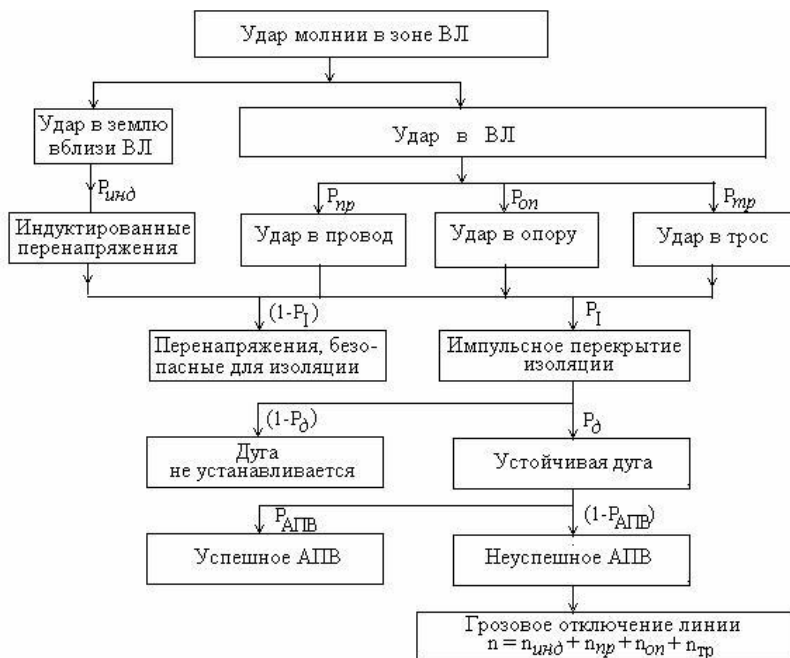


Рисунок 1 – Границы интервалов значений измеряемого параметра

Подвеска грозозащитных тросов, являющаяся основным грозозащитным мероприятием на линиях классов напряжения 110 кВ и выше, малоэффективна для линий 6–35 кВ, что вызвано низкой импульсной прочностью изоляции 6–35 кВ. Вследствие этого вероятность обратных перекрытий при ударах молнии в опору или в трос оказалась бы, при обычных значениях сопротивления заземления опор, весьма значительной. Поэтому линии 6–35 кВ сооружаются, как правило, без тросов. Исключение составляют лишь особо ответственные линии 35 кВ на металлических опорах.

Высокую надежность грозозащиты воздушных линий электропередачи обеспечивают следующие мероприятия:

- подвеска грозозащитных тросов с достаточно малыми углами защиты;
- снижение импульсного сопротивления заземления опор;
- повышение импульсной прочности изоляции линий и снижение вероятности установления дуги (в частности, использование деревянных траверс и опор;
- применение изолированной нейтрали или дугогасящего реактора;
- использование автоматического повторного включения линий.

Рассчитанные удельные числа грозовых отключений при различных видах поражения линии показывают, что порядок полученных оценок суммарного удельного числа отключений в основном согласуется с данными на основе опыта эксплуатации.

Линии напряжением 220 кВ и выше, как правило, сооружаются на металлических или железобетонных опорах. При этом основным средством грозозащиты являются тросы, располагаемые над фазными проводами, с достаточно малым углом защиты α . Угол защиты, в зависимости от высоты опор подбирается таким образом, чтобы уменьшить число прямых ударов молнии в фазные провода приблизительно на 2–3 порядка. Это условие обеспечивается обычно при $\alpha = 20\text{--}30^\circ$. Тем не менее, как показывает опыт эксплуатации, случаи прорыва молнии на провода являются определяющими в суммарном числе опасных грозовых поражений линий 330 кВ и выше, и наблюдается увеличение их числа с ростом номинального напряжения линии. Это связано с увеличением высоты опор и соответствующим снижением эффективности тросовой защиты, а также с возрастанием влияния электрического поля фазных проводов на направление развития лидера молнии. В целях сохранения высокой надежности тросовой защиты на линиях СВН и УВН рекомендуется применение тросов с отрицательными углами защиты.

Для уменьшения грозопоражаемости линии СВН чаще монтируют на опорах, имеющих горизонтальное расположение фаз (например, порталных). Это позволяет снизить общую высоту линий. Дополнительное снижение числа обратных перекрытий дает также использование опор, закрепленных металлическими оттяжками.

На порталных опорах, имеющих большое расстояние между крайними фазами, достаточно малый угол защиты обеспечивается путем подвески двух тросов, расположенных на одинаковой высоте.

При заземлении троса на каждой опоре возникают замкнутые контуры, в которых под влиянием магнитного поля рабочего тока наводятся ЭДС, и начинают протекать паразитные токи. Для уменьшения связанных с этим потерь электрической энергии тросы непосредственно присоединяют к заземленной опоре лишь на конце анкерного участка, а на промежуточных опорах подвешивают на одном-двух изоляторах, зашунтированных искровым промежутком. При грозовых перенапряжениях эти искровые промежутки пробиваются, и трос оказывается практически заземленным на каждой опоре.

Для эффективного отвода тока молнии в землю и предотвращения обратных перекрытий изоляции опоры линии снабжаются соответствующими заземлителями, снижающими импульсное сопротивление заземления каждой опоры до значения $R_{зи} = 10\text{--}20$ Ом. Более высокие значения сопротивления заземления опор допускаются лишь для линий, расположенных в районах с высоким удельным сопротивлением грунта ($\rho > 1000$ Ом·м). В грунтах с $\rho > 1000$ Ом·м желательно применять эффективные глубинные заземлители или, в крайнем случае, многолучевые заземлители длиной 20–30 м.

Дополнительным средством уменьшения грозопоражаемости линий 220 кВ и выше является использование АПВ.

Комплекс перечисленных средств обеспечивает сравнительно высокий уровень надежности грозозащиты линий СВН: удельное число грозовых отключений составляет 0,05–0,1 на 100 км и 100 гр.ч. Наиболее высокое удельное число грозовых отключений (на порядок большее, чем для других

линий) имеют двухцепные линии, смонтированные на опорах башенного типа. Большая высота опор обуславливает на этих линиях увеличение вероятности прорыва молнии мимо тросов, а также увеличение вероятности обратных перекрытий за счет роста индуктивности опоры

Отдельные места линий требуют дополнительных мер защиты. К таким местам относятся:

- пересечения линии электропередачи между собой;
- пересечения линий электропередачи с линиями связи, трамвайными линиями и линиями -электрифицированной железной дороги;
- опоры линии электропередачи со сниженной электрической прочностью изоляции;
- высокие опоры переходных пролетов;
- ответвления к подстанциям на отпайках и секционирующие разъединители на линиях;
- кабельные вставки па линиях.

Защита пересечений линий электропередачи вызвана необходимостью предотвратить тяжелые аварии в случае грозового перекрытия с верхней линии на нижнюю линию электропередачи или связи. Такие перекрытия могут вызвать ложную работу релейной защиты и системные аварии, повреждения электрооборудования линий более низкого напряжения и даже повлечь человеческие жертвы. Наибольшую опасность представляет удар молнии в пролет пересечения. Расстояние между проводами пересекающихся линий в этом пролете должно быть достаточно большим, а амплитуда перенапряжений ограничена разрядниками, расположенными как можно ближе к месту пересечения, поэтому в пролете пересечения целесообразно снять грозозащитный трос с нижней линии и выбрать точку пересечения дальше от середины пролета верхней линии. Если расстояние от места пересечения до ближайшей опоры не превышает 40 м, то разрядники можно устанавливать только на ближайшей опоре. На линиях до 35 кВ, имеющих устройство АПВ, вместо разрядников допускается установка защитных промежутков. Сопротивление заземления опор пролета пересечения не должно быть выше 10–20 Ом. Если опоры деревянные, то на них рекомендуется устанавливать параллельно гирляндам разрядники или искровые промежутки, соединенные спусками с заземлителями опоры.

Необходимое расстояние по вертикали между проводами пересекающихся линий зависит от номинального напряжения верхней линии, сопротивления заземления опор, длины пролета и расстояния между местом пересечения и ближайшей опорой. Установка защитных средств позволяет уменьшить расстояние на 20–30 %.

Отдельные металлические и железобетонные опоры линий, выполненных, главным образом, на деревянных опорах без тросов, представляют собой место со сниженной импульсной электрической прочностью изоляции. Эти места целесообразно защитить трехфазными комплектами разрядников.

Высокие переходные пролеты ВЛ являются источником повышенного числа грозовых поражений. Это связано с большой высотой опор и проводов

над землей, что приводит к увеличению числа ударов молнии в пролет, снижению эффективности защиты тросом, увеличению числа обратных перекрытий из-за большой индуктивности опор. Снижение импульсного сопротивления заземления переходных опор в этом случае становится недостаточным.

Расчет ожидаемого числа отключений ЛЭП с высокими переходными пролетами затруднен необходимостью учета сложного рельефа местности под пролетом и большой разницы высоты провода над землей на отдельных участках пролета, поэтому грозозащита ответственных пролетов рассматривается индивидуально. Как показывают расчеты, наиболее эффективным видом защиты высоких переходов является установка РВ или ОПН в верхней части переходных опор или на опорах, соседних с переходными

Литература

1. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 768 с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: Т. 1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
3. Костенко, М.В. Электрические станции и сети. Т. 13. Грозозащита подстанций и электрических машин высокого напряжения / Итоги науки и техники. – М. : ВИНТИ, 1987. – 84 с.
4. Базуткин, В.В. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
5. Ларионов, В.П. Молниезащита / В.П. Ларионов // Электричество. – 1999. – № 4, 7, 9.

УДК 621.311

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕРМОДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Мешкова А.Н., Калинин А.Н., Ломец Ю.А.

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

Тепловой контроль является современным направлением в диагностике электрооборудования, основанный на измерении, анализе и мониторинге температуры объектов.

Термографический контроль (инфракрасная термография) – это разновидность теплового метода неразрушающего контроля, который осуществляется исследованием теплового излучения объектов [1]. В тепловых методах неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которое в свою очередь зависит от внутренних или наружных дефектов.

Различают контактные и бесконтактные приборы теплового контроля. К контактными приборам теплового контроля относят: термопары, металлические и полупроводниковые сопротивления, термоиндикаторы, термокарандаши, манометрические и жидкостные термометры. Бесконтактными приборами теплового контроля являются: тепловизоры, пирометры, термографы, квантовые счетчики и др.

Портативные пирометры позволяют оперативно провести измерение температуры в локальных точках механического и электрического оборудования на неподвижных, удаленных и вращающихся деталях [2].

Работа пирометра заключается в идентификации тепловых волн, излучающихся от нагреваемой поверхности. Действие пирометров излучения основано на фотоэлектрической, визуальной и фотографической регистрации интенсивности теплового излучения нагретых тел, пропорционального их температуре. Пирометры имеют объектив для фокусировки излучения, фотодетектор, светофильтры и блок электронной обработки сигнала. При контроле температуры объектов в труднодоступных полостях применяют пирометры в сочетании с волокну-оптическими световодами.

Основным преимуществом пирометров является получение недоступной ранее информации о температуре деталей и узлов. В области электрического оборудования – контроль температуры контактов и элементов схем управления. Нередко пирометрами пользуются в сфере электроэнергетике для измерения элементов в распределительных щитах, трансформаторах, кабелей и контактных соединений.

Одной из разновидностей пирометров являются тепловизоры, которые работают по принципу сравнения спектра излучения тепла с образцовым спектром.

Тепловизоры являются оптико-электронными приборами, состоящими из детектора излучения (ИК-приемника), сканера, встроенного эталона

температуры, электронного блока, монитора, программного продукта, блока питания или аккумуляторной батареи. Кроме того, тепловизионные системы могут включать в себя карту памяти, для записи и хранения информации, а также встроенную фотокамеру [3].

Тепловизионное обследование электрооборудования любого уровня напряжения является одним из наиболее эффективных методов диагностики с точки зрения таких показателей как:

– Скорость проведения измерений. Тепловизионное обследование не требует большого времени на его проведение. Для определения состояния оборудования такого как разъединитель потребуется несколько секунд.

– Простота. Тепловизионная диагностика не требует отключения электрооборудования, не требует большого количества организационных и технических мероприятий. Современные тепловизоры очень просты и удобны в эксплуатации, при этом набор встроенных инструментов для анализа позволяет в отдельных случаях производить диагностику прямо на объекте.

– Доступность. Современные тепловизоры являются доступными и недорогими, благодаря этому тепловизором может быть оснащен любой энергообъект.

Основным достоинством тепловизионного обследования является получение данных о неисправности без отключения оборудования, при этом многие виды дефектов проявляются в виде нагрева (или его отсутствия) нагруженном оборудовании. Обычно для определения таких дефектов требуется проводить сложные электрические испытания, которые связаны с отключением оборудования и организационно-техническими мероприятиями, которые связаны с допуском бригады на испытания.

Кроме перегрева контактов и проводников, тепловизор для электрооборудования позволяет фиксировать:

- повышенный нагрев фарфоровых покрышек;
- дефекты (негерметичность) вводов автотрансформаторов;
- аномальное функционирование баковых масляных выключателей;
- распределение напряжения по элементам разрядников.

Также тепловизор для электрооборудования позволяет дистанционно контролировать уровень масла в баках масляных радиаторов, регистрировать перегрев подшипников электрических машин и т. п.

Повысить эффективность и сократить временные затраты на проверки позволит тепловизор для электрооборудования с функцией температурной сигнализации. Для этого устанавливается верхний предел срабатывания на максимально допустимую температуру нагрева проводников или контактных элементов, и прибор сам подает сигнал тревоги, когда в поле его видимости попадет проблемный участок. Такой режим работы позволит сэкономить время на снятии численных показаний и сравнении их с эталоном. Для работы на объектах, где присутствует высокое напряжение, а также для проверки состояния высоковольтных линий электропередач лучше всего подходят профессиональные тепловизоры с высоким разрешением ИК-датчика, оснащенные телеобъективом. Такие приборы обеспечивают эффективный

дистанционный контроль, позволяя выполнять тепловизионную съемку с больших расстояний.

Одним из типов беспроводного мониторинга с использованием радиотехнологий являются датчики дистанционного контроля температуры [4].

Акустоэлектронный датчик (рисунок 1) представляет собой линию задержки (ЛЗ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащую встречно-штыревой преобразователь (ВШП), соединенный с антенной, и отражательный ВШП, соединенный с нагрузкой Z , величина которой зависит от контролируемого параметра [5]. На торцах ЛЗ нанесены акустопоглотители для подавления отраженных от краев подложки ПАВ.

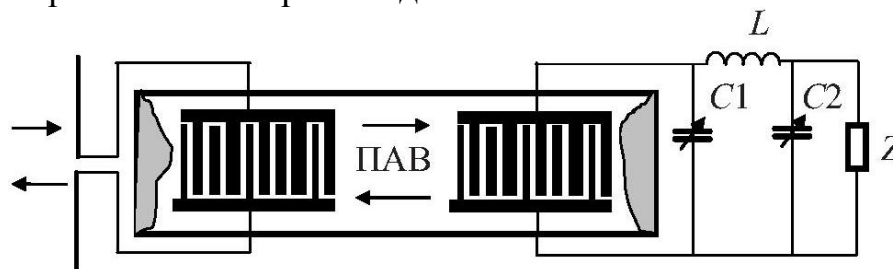


Рисунок 1 – Схема пассивного акустоэлектронного датчика на ПАВ

Преимущества ПАВ технологии для контроля температуры:

- мониторинг токоведущих элементов;
- автоматизация и отсутствие человеческого фактора;
- интеграция в промышленные сети и интернет;
- беспроводной контроль токоведущих узлов;
- непрерывный контроль узлов под напряжением;
- длительный срок службы, без обслуживания.

Основной недостаток таких датчиков – невозможность дистанционного контроля температуры вне видимости объекта контроля.

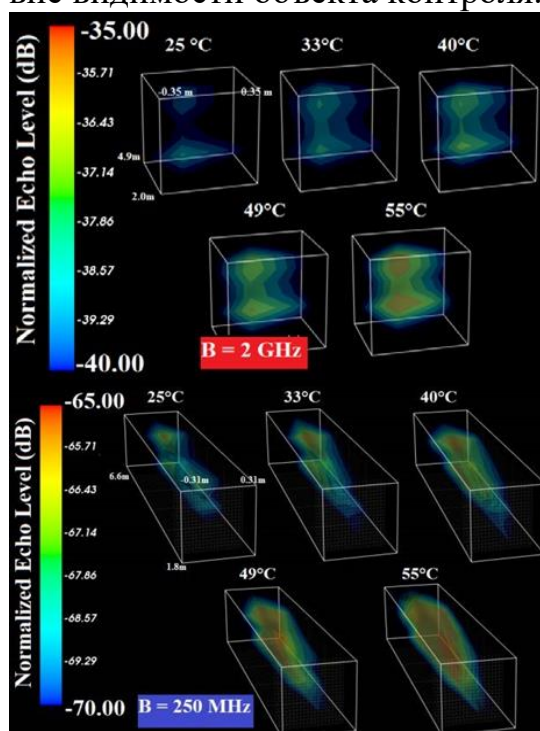


Рисунок 2 – Трехмерное представление изоповерхностей

Существует ещё одна методика обнаружения и дистанционного считывания пассивных датчиков температуры [6]. Этот метод основан на трехмерном сканировании луча, выполняемом радиолокатором непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW) для измерения уровня эхо-сигналов датчиков. Несущая частота составляет 24 ГГц, исследуются две полосы частотной модуляции (2 ГГц и 250 МГц). Колебания измеренного уровня эхо-сигнала анализируются с использованием соответствующих методов оценки, а полученное изменение температуры отображается с использованием удобного трехмерного представления изоповерхностей (рисунок 2).

Литература

1. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальностей: 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами» / БНТУ, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост. : А.Г. Герасимова, С.А. Качан. – Минск : БНТУ, 2017. – 189 с.
2. Электросам.Ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/pirometry/>. – Дата доступа : 24.05.2020.
3. СвязьКомплект [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://skomplekt.com/teplovizionnyj-kontrol-ehlektrooborudovaniya/>. – Дата доступа : 24.05.2020.
4. Schuster, S. Performance evaluation of algorithms for SAW-based temperature measurement / S. Schuster, S. Scheibelhofer, L. Reindl, A. Stelzer // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2006 – Volume 53 – Issue 6 – Pp. 1177–1185.
5. Карапетьян, Г.Я. Пассивный датчик на ПАВ для дистанционного контроля параметров / Г.Я. Карапетьян, В.Ф. Катаев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – № 5. – С. 53–54.
6. 3D Scanning and Sensing Technique for the Detection and Remote Reading of a Passive Temperature Sensor // HAL archives-ouvertes.fr [Electronic resource]. – 2016. – Mode of access : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01396836/>. – Date of access : 25.05.2020.

УДК 621.311

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Баран Ю.Г., Русецкий К.И., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

Отказ – это событие, которое заключается в потере работоспособности, т. е. переходе системы в состояние, не соответствующее нормальному выполнению заданных функций.

Отказ – результат взаимодействия большой совокупности факторов, которые можно разделить на две группы:

- субъективные (нарушение правил эксплуатации, ошибочное истолкование наблюдаемых явлений, неправильные действия персонала);
- объективные (недостатки конструкции, технологии изготовления, внешние нерасчетные воздействия – перенапряжение, перегревы, длительная эксплуатации состарившегося оборудования).

По характеру изменения основных параметров электрооборудования до момента возникновения отказа различают внезапные и постепенные отказы.

Принципиальной разницы между внезапными и постепенными отказами нет, поскольку внезапные отказы в большинстве случаев являются следствием постепенного, но скрытого от наблюдения изменения параметров

Для различных отраслей экономики отказ оборудования ведет к потерям, например, в автомобильном производстве – это недоотпуск продукции (автомобилей и комплектующих), а следовательно, потерянная прибыль или же в больницах отказ оборудования может оцениваться жизнями людей.

Таким образом, важно оценивать состояние и параметры электрооборудования (например, параметры изоляции, контроль температуры контактных соединений), используемого в различных отраслях экономики, производить непрерывный контроль за ним, а также оценивать состояние окружающей среды, в которой находится оборудование (например контроль температуры, а также влажности помещения, в котором находится оборудование).

Современные мировые энергетические компании развивают данное направление, исследуют, разрабатывают и предлагают различные решения для диагностики состояния электрооборудования.

Компания Schneider Electric разработала унифицированную архитектуру EcoStruxure. Данная архитектура состоит из трех уровней:

- первый уровень – подключаемые устройства;
- второй уровень – инфраструктура связи, предварительной обработки и визуализации данных;
- третий уровень – приложения, аналитика и сервисы.

Одним из направлений архитектуры EcoStruxure является EcoStruxure Grid (структура представлена на рисунке 1). Это архитектура, предназначенная для сетей электроснабжения от низкого до сверхвысокого напряжения. И данное направление также состоит из трех уровней:

– первый уровень – беспроводные датчики Easergy TH110, CL110 (позволяют вести 24/7 мониторинг контактных соединений, а также мониторинг окружающей среды (температура, влажность) в котором находится оборудование), измерительные устройства, «ready to connect»-ячейки КСО, КРУ, силовые трансформаторы;

– второй уровень – инфраструктура Easergy T300, энергетическая SCADA-система PACIS-EMCS (локальные точки сбора данных, полученных от измерительных устройств);

– третий уровень – аналитические приложения ADMS (Advanced Distribution Management System). Microgrid Management, облачные сервисы для предиктивной аналитики и обслуживания и др. (предназначены для обработки собранной информации и выдвижения дальнейших рекомендаций по обслуживанию, ремонту и т. д.).

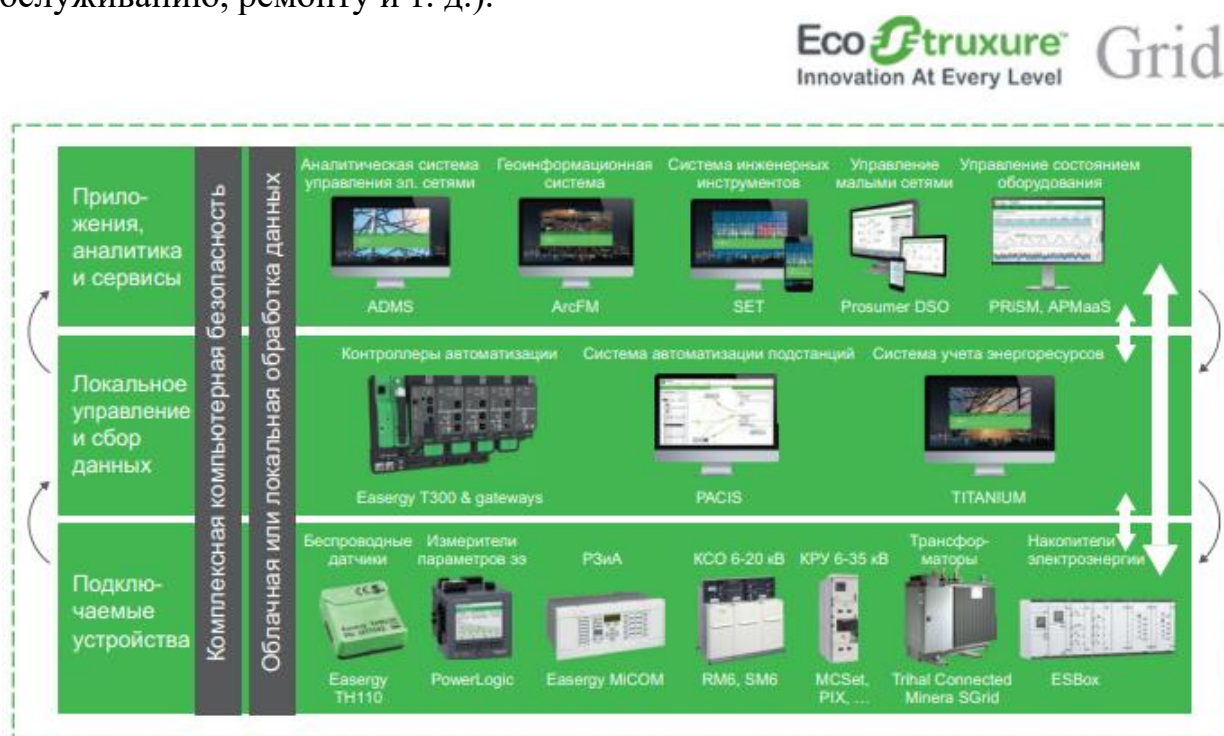


Рисунок 1 – Структура направления EcoStruxure Grid

Современными трендами в электроэнергетической отрасли являются разработка и внедрение методик предиктивного мониторинга и обслуживания, таких как:

– Condition Based Monitoring (CBM) – предотвращение аварийных ситуаций посредством мониторинга в реальном времени динамического изменения основных технологических и вторичных параметров энергетического оборудования: силовых трансформаторов, электрических машин, комплектных распределительных устройств (КРУ), линий электропередач (ЛЭП) и др.;

– Predictive Maintenance (PrM) – управление техническим состоянием оборудования, планирование технического обслуживания, ремонтов и замены, основанное на данных фактического состояния, получаемых непрерывно в режиме реального времени, а также алгоритмов прогнозирования.

Предиктивное техническое обслуживание (Predective maintenance) – методология управления техническим состоянием оборудования, которая реализуется посредством непрерывного мониторинга состояния и планирования предупредительных технических работ и ремонтов. Данная методология предполагает установку соответствующих датчиков контроля (например термодатчики Easergy TH110), измерительных и преобразовательных приборов, контроллерного оборудования и инфраструктуры связи, специального программного обеспечения.

Компания Schneider Electric предлагает следующие компоненты для предиктивного управления:

- термомониторинг (беспроводной датчик Easergy TH110);
- контроль состояния окружающей среды;
- контроллер присоединения;
- релейная защита;
- система дуговой защиты;
- контроллер системы мониторинга подстанции (SMD).

Таким образом, предиктивный подход к техническому обслуживанию и диагностике электрооборудования является перспективным направлением. Так, например, обслуживание и ремонт оборудования можно производить не по предварительно подготовленному плану (система планово-предупредительных ремонтов), а по мере необходимости исходя из показателей, снимаемых 24/7. Это позволяет экономить средства на ремонт и обслуживание электрооборудование, а также снизить количество их отказов, чтобы обеспечить надежное электроснабжение потребителей.

Литература

1. Решения Schneider Electric по предиктивному управлению. – М. : Schneider Electric, 2018. – 40 с.
2. Каталог MCset Распределительные устройства с воздушной изоляцией до 10 кВ. – М. : Schneider Electric, 2020. – 96 с.
3. Каталог Easerge T300. – М. : Schneider Electric, 2020. – 128 с.

УДК 621.31

**АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

Введем основные определения, необходимые для понимания последующего анализа сложных резистивных цепей с применением 3D-моделирования.

Сложной называется электрическая цепь (схема), содержащая не менее двух узлов, не менее трех ветвей и не менее двух источников энергии в разных ветвях [1].

В сложной электрической цепи наблюдаются одновременно в той или иной мере разнородные физические процессы, а именно, процесс генерирования электрической энергии, процесс преобразования электрической энергии в другие виды и процесс обмена энергией между магнитным полем, электрическим полем и источниками энергии. В общем случае для отображения этих физических процессов схема замещения цепи должна содержать кроме источников энергии все разнородные схемные элементы.

Математически физические процессы в такой схеме можно описать системой дифференциальных уравнений, составленных для схемы замещения по законам Кирхгофа. Цепи постоянного тока представляются эквивалентными схемами, содержащими только постоянные источники энергии и резистивные элементы. Такие схемы получили название резистивных или постоянного тока. Установившийся режим постоянного или переменного тока в таких схемах описывается системой линейных алгебраических уравнений, составленных по законам Кирхгофа.

Для расчета таких цепей применяются следующие методы [2]:

– метод наложения (основан на принципе суперпозиции и звучит следующим образом: ток или напряжение в i -ой ветви равен алгебраической сумме токов или напряжений, создаваемых каждым источником в отдельности, при условии, что все остальные источники заменены своими внутренними сопротивлениями);

– метод эквивалентного источника (позволяет определить ток в одной из ветвей (или нагрузке) в соответствии с принципом компенсации, согласно которому любой пассивный участок цепи (ветвь или ее часть) может быть заменен источником ЭДС с тем же напряжением; а любая ветвь с известным током – источником тока с таким же значением);

– метод уравнений Кирхгофа (теоретическая база метода: 1-й и 2-й законы Кирхгофа. 1-й закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов ветвей в узле схемы равна нулю. 2-й закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений в произвольном контуре схемы равна алгебраической сумме ЭДС);

– метод контурных токов (теоретическая база метода: 2-й закон Кирхгофа в сочетании с принципом наложения. Предполагают, что в каждом элементарном контуре-ячейке схемы протекает «свой» контурный ток, а

действительные токи ветвей получаются по принципу наложения контурных токов как их алгебраические суммы);

– метод узловых потенциалов (теоретическая база метода: 1-й закон Кирхгофа в сочетании с потенциальными уравнениями ветвей. В этом методе потенциал одного из узлов схемы принимают равным нулю, а потенциалы остальных узлов считают неизвестными, подлежащими определению).

Рассмотрим переход от 2D к 3D-моделированию при анализе режимов работы электрических цепей, отметим преимущества такого перехода, а также выполним расчет сложной резистивной цепи с применением 3D-модели.

Имея перед глазами 2D чертёж, зачастую затруднительно представить взаимосвязь между элементами схемы, определить их общие точки, а также расположение отдельных элементов относительно друг друга. Так, например, глядя на рисунок 1а, достаточно тяжело представить взаимосвязь между сторонами 4 и 12, 5 и 8, определить их расположение относительно сторон 2 и 10, 6 и 7 и установить корреляцию между ними. Однако, стоит попробовать предать данному объекту объем (рисунок 1б) и становится понятно, что 5, 4, 8, 12 представляют собой грань многогранника 1–12 и она связана с гранью 6, 2, 7, 10 посредством ребер 1, 3, 11 и 9. Преобразовывая дальше, приходим к выводу, что перед нами куб (рисунок 1в), что даёт нам полное представление о расположении элементов относительно друг друга, а также показывает их взаимосвязь.

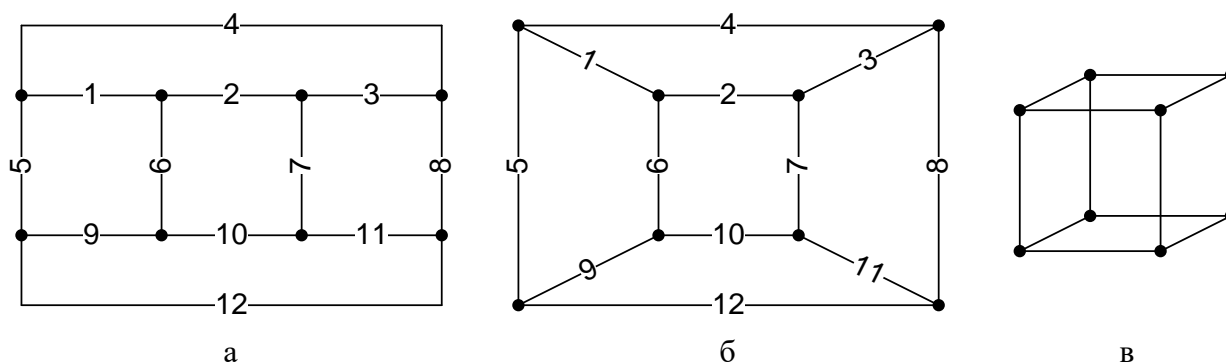


Рисунок 1 – Визуализация перехода от плоского (а) к объёмному (б, в) представлению

Данный переход представляет практический интерес для изучения дисциплины «Теоретические основы электротехники», так как при составлении систем уравнений по любому из известных методов необходимо знать общие точки (узлы) элементов, контуры протекания токов, связь элементов между собой, а такое изображение схем наилучшим образом наглядно и просто позволяет решить эту задачу.

Рассмотрим данную методику представления схем на реальном примере. Пусть у нас имеется схема сложной резистивной цепи (рисунок 2) с определенными параметрами ее резистивных элементов и источников энергии. Для выполнения расчетов предварительно зададимся положительными направлениями токов в ветвях схемы и номерами узлов.

Создадим 3D-модель цепи, используя 3D-модели реальных электротехнических изделий: источников питания и резисторов (рисунок 3).

Такой переход позволяет практически «в живую» лицезреть проектируемую схему; оценить ее габариты; получить информацию об элементах схемы (сопротивление резисторов, напряжение источников питания), взглянув на 3D-модель.

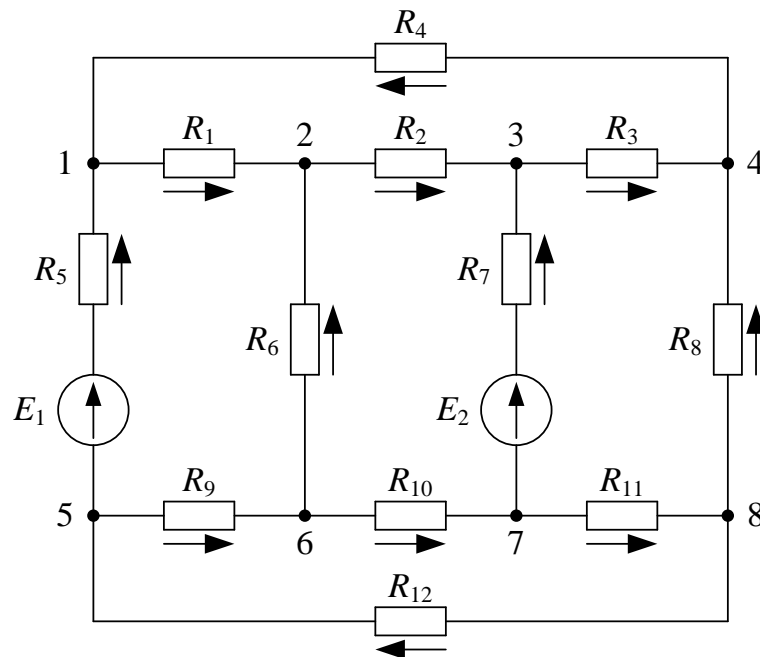


Рисунок 2 – Исходная схема электрической цепи

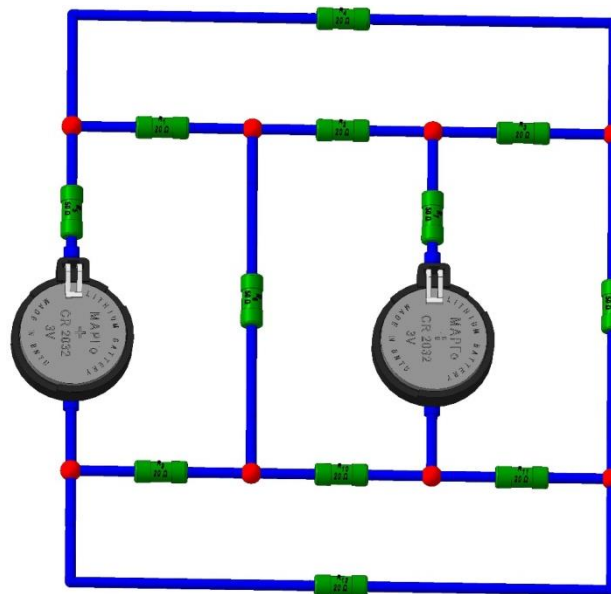


Рисунок 3 – 3D-модель исходной схемы

Далее произведем переход от, так называемого, «плоского-объемного» (рисунок 3) к объемному (рисунок 4) 3D-представлению расчетной цепи (рисунок 2).

Как можно заменить, такое представление электрической цепи наиболее компактно, наглядно и информативно, откуда вытекают следующие преимущества 3D-моделирования над 2D чертежами [3]:

– Трехмерное моделирование является мощным инструментом, который дает лучшее представление об объекте, чем двухмерный план или чертеж. В

объемности и состоит одно из главных преимуществ трехмерного представления объектов.

– 3D САПР программы являются параметрическими, поэтому в них легко можно изменять и редактировать готовую модель, а также, набрав элементную базу, создавать целые проекты.

– Плоский чертеж статичен, а 3D-модель, сохраненную в формате для хранения трёхмерных моделей объектов, можно вращать, изучая ее с любой точки, менять масштаб по своему желанию.

– Имеется возможности многократного использования спроектированной детали или узла для создания целого семейства аналогичных объектов.

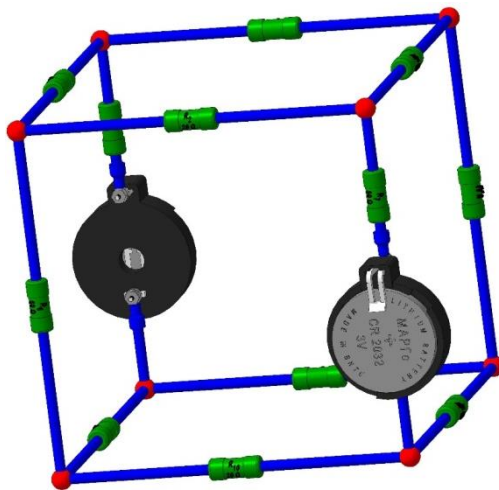


Рисунок 4 – Объёмное представление исходной схемы

Расчет рассматриваемой резистивной цепи (рисунок 2) выполним методом узловых потенциалов в среде вычислительной математики MathCAD и в среде динамического моделирования Simulink (рисунки 5–8). Сопоставление полученных результатов в MathCAD (рисунок 6) и Simulink (рисунок 8) указывает на корректность выполненных расчетов.

Given

$$g1 \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5} \right) - g2 \cdot \frac{1}{R1} - g4 \cdot \frac{1}{R4} - g5 \cdot \frac{1}{R5} = \frac{E1}{R5}$$

$$g2 \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R6} \right) - g1 \cdot \frac{1}{R1} - g3 \cdot \frac{1}{R2} - g6 \cdot \frac{1}{R6} = 0$$

$$g3 \cdot \left(\frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R7} \right) - g2 \cdot \frac{1}{R2} - g4 \cdot \frac{1}{R3} - g7 \cdot \frac{1}{R7} = \frac{E2}{R7}$$

$$g4 \cdot \left(\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R8} \right) - g1 \cdot \frac{1}{R4} - g3 \cdot \frac{1}{R3} = 0$$

$$g5 \cdot \left(\frac{1}{R5} + \frac{1}{R9} + \frac{1}{R12} \right) - g1 \cdot \frac{1}{R5} - g6 \cdot \frac{1}{R9} = \frac{-E1}{R5}$$

$$g6 \cdot \left(\frac{1}{R6} + \frac{1}{R9} + \frac{1}{R10} \right) - g2 \cdot \frac{1}{R6} - g5 \cdot \frac{1}{R9} - g7 \cdot \frac{1}{R10} = 0$$

$$g7 \cdot \left(\frac{1}{R7} + \frac{1}{R10} + \frac{1}{R11} \right) - g3 \cdot \frac{1}{R7} - g6 \cdot \frac{1}{R10} = \frac{-E2}{R7}$$

$$g := \text{Find}(g1, g2, g3, g4, g5, g6, g7)$$

Рисунок 5 – Система узловых уравнений в MathCAD

$$\begin{aligned}
 I_1 &:= \frac{\xi_1 - \xi_2}{R_1} = 0.0125 & I_5 &:= \frac{\xi_5 - \xi_1 + E_1}{R_5} = 0.025 & I_9 &:= \frac{\xi_5 - \xi_6}{R_9} = -0.0125 \\
 I_2 &:= \frac{\xi_2 - \xi_3}{R_2} = -0.0125 & I_6 &:= \frac{\xi_6 - \xi_2}{R_6} = -0.025 & I_{10} &:= \frac{\xi_6 - \xi_7}{R_{10}} = 0.0125 \\
 I_3 &:= \frac{\xi_3 - \xi_4}{R_3} = 0.0125 & I_7 &:= \frac{\xi_7 - \xi_3 + E_2}{R_7} = 0.025 & I_{11} &:= \frac{\xi_7 - \xi_8}{R_{11}} = -0.0125 \\
 I_4 &:= \frac{\xi_4 - \xi_1}{R_4} = -0.0125 & I_8 &:= \frac{\xi_8 - \xi_4}{R_8} = -0.025 & I_{12} &:= \frac{\xi_8 - \xi_5}{R_{12}} = 0.0125
 \end{aligned}$$

Рисунок 6 – Результаты вычислений в MathCAD

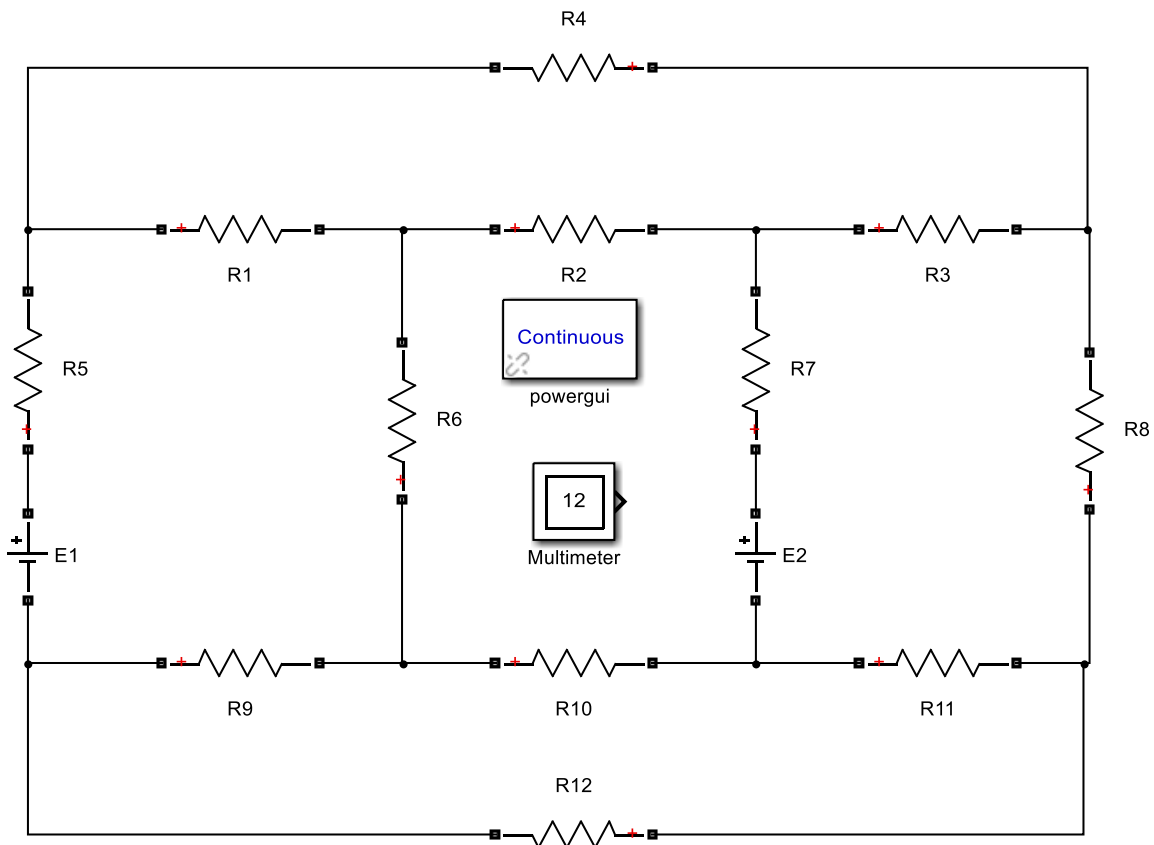


Рисунок 7 – Электрическая цепь в среде моделирования Simulink

Ib: R1	'	=	0.0125 A
Ib: R2	'	=	-0.0125 A
Ib: R3	'	=	0.0125 A
Ib: R4	'	=	-0.0125 A
Ib: R5	'	=	0.025 A
Ib: R6	'	=	-0.025 A
Ib: R7	'	=	0.025 A
Ib: R8	'	=	-0.025 A
Ib: R9	'	=	-0.0125 A
Ib: R10	'	=	0.0125 A
Ib: R11	'	=	-0.0125 A
Ib: R12	'	=	0.0125 A

Рисунок 8 – Результаты моделирования в Simulink

Литература

1. Мазуренко, А.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов

электротехнических специальностей / А.А. Мазуренко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.

2. Методы анализа линейных электрических цепей // Студопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studopedia.ru/8_58212_ekvivalentnie-preobrazovaniya-elektricheskikh-tsepey.html/. – Дата доступа : 09.11.2020.

3. Какие САПР мы выбираем: 2D или 3D? / Елена Гореткина // PC Week/RE № 18 (576), 22–28 мая 2007 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.itweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=82523/>. – Дата доступа : 09.11.2020.

УДК 621.3

ИНФРОКРАСНАЯ ТЕРМОДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Русецкий К.И., Могильницкая А.А.

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

Термографический контроль (инфракрасная термография) это разновидность теплового метода неразрушающего контроля, который осуществляется исследованием теплового излучения объектов.

В тепловых методах неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которое в свою очередь зависит от внутренних или наружных дефектах. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых трещин, полостей, раковин, непроваров, инородных включений и т. д., всевозможных отклонений физических свойств объекта контроля от нормы, наличия мест локального перегрева или охлаждения.

Результаты термографического контроля, как правило, представляют в виде инфракрасных термограмм, на которых отражается распределение теплового излучения (температуры) объекта.

Различают контактные и бесконтактные приборы теплового контроля.

Бесконтактными приборами теплового контроля являются: тепловизоры, пирометры, термографы, квантовые счетчики и др.

Следует рассмотреть тепловизор, который является наиболее доступным и применяемым прибором для проведения инфракрасной термодиагностики.

Тепловизор это измерительный прибор, который видит тепло и способен фиксировать распределение и малейшие изменения температуры обследуемого объекта и сохранять увиденное в виде инфракрасных изображений или видео. Определенной температуре, соответствует свой цвет. Тепловизоры работают в ИК-диапазоне и состоят из тепловизионной матрицы, объектива и блока обработки сигнала. Визуальная информация показываемая на дисплее тепловизионной камеры обеспечивается за счет преобразования инфракрасных сигналов, поступающих от различных теплоносителей, в видеосигнал, и здесь основную функцию берет на себя тепловизионная матрица.

Спектр областей практического применения термографии (применение тепловизоров) необычайно широк: от медицины и ветеринарии до нужд ВПК, органов правопорядка, охранных структур, от большинства отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности и энергетики до авиации, от реставрации объектов архитектуры, предметов изобразительного искусства и скульптуры до пищевой промышленности, в последнее время популярностью пользуются тепловизоры для охотников. Особое место в промышленной термографии занимает тепловизионное обследование объектов строительства, городской инфраструктуры, строительной техники и оборудования. Ведущими производителями ИК-камер созданы специальные линейки камер, специально предназначенных для решения задач строительства и инжиниринга.

В работе предприятий энергетического сектора, основными направлениями теплового контроля является поиск перегретых участков электросетей, дымовых труб, паровых и водогрейных котлов. Тепловизоры также часто применяются для поиска неисправностей в теплоизоляции трубопроводов и турбин, определения мест подсоса холодного воздуха, для проверки эффективности работы систем охлаждения трансформаторов, двигателей, линий электропередач и другого оборудования.

К типовым объектам тепловизионного контроля в сфере энергетики можно отнести всевозможные конденсаторы, рубильники, распределительные щиты, места контактных соединений электропроводки, трансформаторы, генераторы, батареи, бойлеры, паровые системы и другое оборудование.

Отдельным направлением тепловизионного контроля в энергетике, является мониторинг солнечных энергосистем, который проводится для обеспечения безопасности и анализа эксплуатационных показателей. В современных тепловизорах предусмотрена возможность ввода показателя интенсивности солнечного излучения, которое сохраняется вместе с тепловыми снимками и в дальнейшем может быть использовано для анализа результатов контроля.

Образец тепловизора представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Тепловизор

При тепловизионном контроле выявляются следующие виды дефектов и неисправности электрооборудования:

- нарушение температурного режима контактных соединений (болтовых, нажимных, сварных, опрессованных, паяных);
- состояние опорной и подвесной изоляции;
- состояние вентильных разрядников, ограничителей перенапряжения, трансформаторов тока и напряжения, конденсаторов связи;
- нарушения режимов работы систем охлаждения силовых трансформаторов;
- дефекты высоковольтных вводов;
- локальные очаги нагрева поверхностей баков трансформаторов и выключателей;

– повреждения межлистовой изоляции активной стали статоров генераторов.

Примеры термограмм с различными аномалиями и дефектами электрооборудования представлены на рисунке 2.

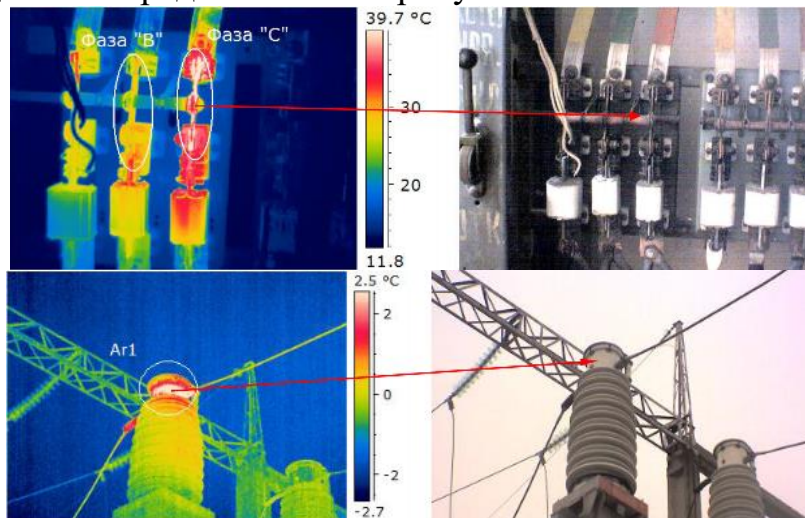


Рисунок 2 – Термограммы электрооборудования

Тепловизионный контроль позволяет:

– предупредить возникновение аварийных ситуаций в электрооборудовании и тем самым повысить надёжность электроснабжения потребителей;

– в разы снизить затраты на ремонты, поскольку повреждения выявляются на ранних стадиях и требуют небольших финансовых вложений;

– оценить действительное состояние электрооборудования с определением запаса его работоспособности, что особенно актуально для оборудования, отработавшего большие сроки.

Следует отметить основные преимущества тепловизионного контроля перед традиционными методами оценки состояния оборудования:

1. Тепловизионный контроль производится в рабочем состоянии оборудования, то есть под нагрузкой и напряжением. Результаты обследования в таком состоянии являются более достоверными, чем результаты обследований после снятия нагрузки или напряжения. Так, например, для гирлянды изоляторов нагрузкой является не только напряжение, но и тяжение провода. Замеченное тепловизором повреждение изолятора гирлянды может оказаться незамеченным при осмотре гирлянды после снятия с опоры.

2. Тепловизионный контроль проводится без отключения оборудования и в любое время. Поэтому тепловизионное обследование оборудования не мешает предприятию выполнять свою основную задачу по передаче и распределению электроэнергии.

3. Поскольку повреждения выявляются на работающем оборудовании, то имеется запас времени для подготовки вывода дефектного оборудования в ремонт, не отключая электроустановку и сокращая время ремонта до минимума.

Таким образом, можем отметить, что наиболее эффективным и простым в современных реалиях считается этот метод контроля состояния электрооборудования.

Но также имеется такое оборудование электрических станций и подстанций, состояние которых не просто контролировать с помощью тепловизоров, потому что наиболее нагретые точки находятся в глубине электроустановки.

УДК 621.38

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ГИБКИЕ ПРОВОДА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Баран А.Г., Васильева А.А., Журкевич В.В., Туманов П.С., Зарихта К.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

В результате электродинамического действия токов короткого замыкания (КЗ) происходит сближение и даже схлестывание гибких проводов, сопровождаемые ударными нагрузками на элементы и опорные конструкции электроустановок энергосистем. При схлестывании токи КЗ ведут к пережогу проволок 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 электродинамическими усилиями (ЭДУ) от токов первичного КЗ. Следующее за этим отключение системы шин РУ дифференциальной защитой ведет к тяжелым последствиям для энергосистемы в целом.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ в течение времени автоматического отключения цепи без повреждений. В соответствии с ГОСТ 30323-95 критериями электродинамической стойкости проводов являются их максимальные отклонения и тяжения при КЗ. Согласно ПУЭ проверку электродинамической стойкости проводов необходимо выполнять при токах КЗ 20 кА и более. Существующие токи КЗ значительно превышают это значение в сетях 110–330 кВ.

Еще более актуальной проблема электродинамического действия токов КЗ на гибкие провода является для стран Западной Европы и Северной Америки, где уровни токов КЗ достигают 40–100 кА (40 кА – в Бельгии, 63 кА – во Франции, 100 кА – в Германии и Канаде). При указанных токах КЗ их электродинамическое действие – ключевой фактор, влияющий на размеры и прочность токоведущих конструкций с гибкими проводами, учет которого необходим при проектировании.

На рисунках 1 и 2 на примере одной из энергосистем Европы ($P_{уст} \approx 14$ млн. кВт) можно проследить динамику роста токов КЗ за период с 1950 по 1992 годы [1].

Проследить за уровнями токов КЗ и закономерностями их формирования для энергосистемы Республики Беларусь не представляется возможным. По данным специалистов РУП «ОДУ» после введения в эксплуатацию БелАЭС уровни токов КЗ на шинах 110 и 330 кВ системообразующей подстанций «Северная 330» вырастет примерно на 5 кА, а на электростанциях г. Минска рост составит от 200 А до 1,5 кА (таблица 1). Поэтому проблема динамики проводов уже теперь становится актуальной для энергосистемы Беларуси.

В связи с реконструкциями уже действующих станций и, в перспективе, вводом новых генерирующих источников ожидается и дальнейший рост уровней токов КЗ.

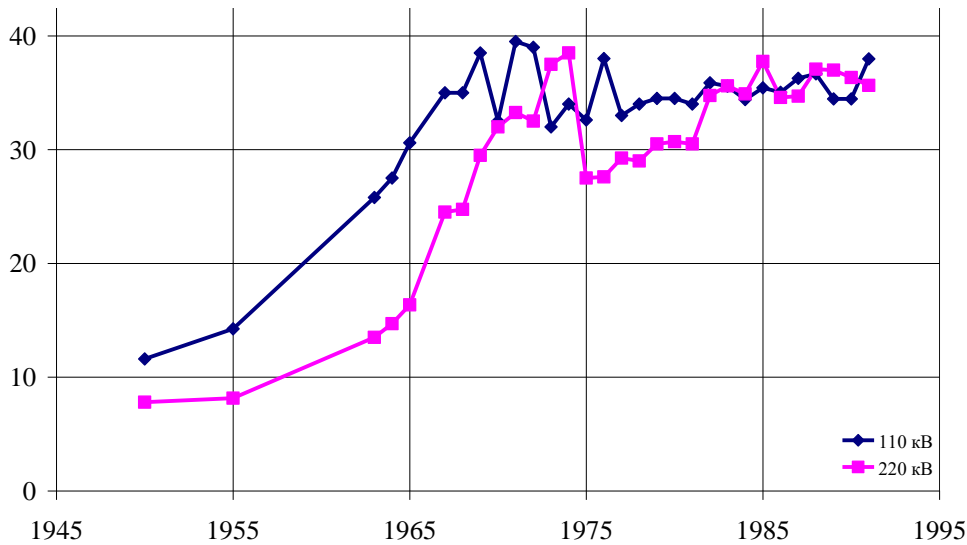


Рисунок 1 – Динамика изменения тока трехфазного КЗ

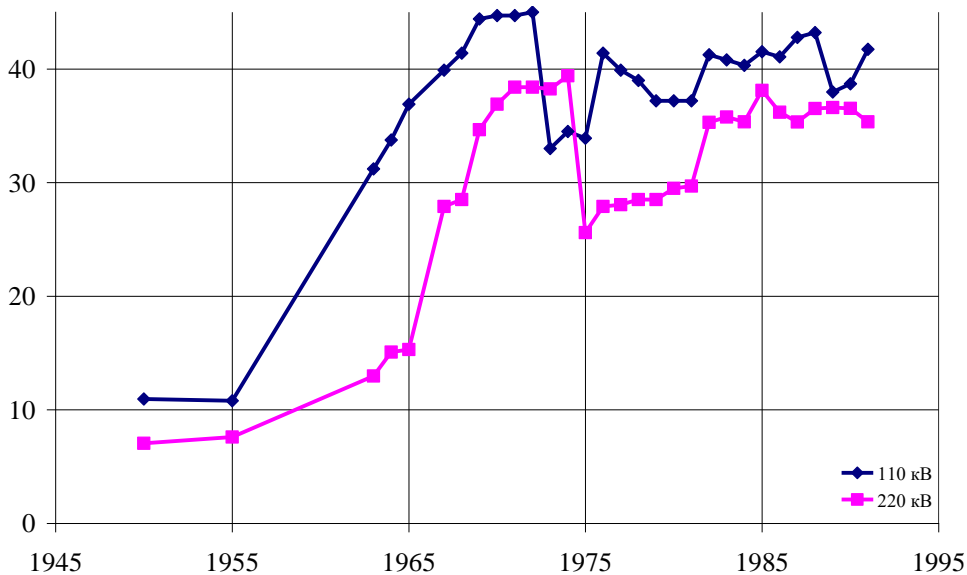


Рисунок 2 – Динамика изменения тока однофазного КЗ

Таблица 1 – Уровни токов трехфазного КЗ на шинах электростанции и подстанций, кА

Объект	До ввода АЭС		После ввода АЭС		Рост уровня тока КЗ	
	110 кВ	330 кВ	110 кВ	330 кВ	110 кВ	330 кВ
ПС Северная	22,556	19,581	26,801	24,207	4,245	4,626
ПС Восточная	17,831	17,565	18,090	18,449	0,259	0,884
ПС Колядичи	20,809	21,082	21,055	21,924	0,246	0,842
Минская ТЭЦ-2	22,162	–	22,345	–	0,183	–
Минская ТЭЦ-3	34,815	–	35,243	–	0,428	–
Минская ТЭЦ-4	40,571	25,346	41,346	26,855	0,775	1,509
Минская ТЭЦ-5	11,730	23,097	11,893	23,735	0,163	0,638

Для выбора габаритов и механических характеристик токоведущих конструкций нужно знать не только максимальные отклонения и тяжения

проводов, но и их изменение во времени при наиболее неблагоприятных условиях КЗ. Для определения динамических характеристик токоведущих конструкций с гибкими проводами необходимо теоретически исследовать движение упругой механической системы с бесконечно большим числом степеней свободы под воздействием распределенных ЭДУ. Нелинейные зависимости ЭДУ от мгновенного положения проводов усложняют решение этой задачи.

Актуальность и сложность проблемы электродинамического действия токов КЗ на гибкие провода электроустановок привели к объединению усилий специалистов ряда стран под эгидой международных энергетических организаций СИГРЭ и МЭК.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. Прежде всего, выделяются две стадии движения проводов: вынужденное – под воздействием ЭДУ и свободное – после отключения КЗ. Траектории вынужденного движения средних точек трехфазной системы горизонтально расположенных проводов напоминают траекторию движения маятника. Однако при увеличении тока КЗ из-за влияния упругих и температурных удлинений проводов, упругой податливости опорных конструкций, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории их движения приобретают более сложную форму.

Собственные частоты колебаний проводов реальных пролетов РУ не превышают нескольких Гц, 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. Характер движения провода после неуспешного АПВ зависит от продолжительности бестоковой паузы. Существенное влияние на характер вынужденного движения оказывают спуски к электрическим аппаратам и гирлянды изоляторов, ограничивающие отклонения проводов. В опыте вертикально присоединенные спуски в пролете длиной 36 м привели к уменьшению отклонения проводов примерно на 40 %.

Указанным выше разновидностям движения проводов при КЗ соответствуют характерные максимумы тяжения. В общем случае выделяются три сдвинутых во времени максимума тяжений в проводах при КЗ. Первый максимум $T_{1\max}$ возникает только в РФ 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. В опытах максимум этого тяжения в 4–6 раз превышал тяжение РФ до КЗ. Величина $T_{1\max}$ не зависит от продолжительности тока, исключая очень малые токи, так как он наступает раньше момента отключения КЗ. Поэтому $T_{1\max}$ представляет серьезную опасность для конструктивных элементов РУ.

Второй максимум тяжения $T_{2\max}$ наступает позже и обусловлен отклонением проводов под действием междуфазных ЭДУ. Этот максимум возникает в момент времени, близкий к наибольшему горизонтальному отклонению провода. Опытные зависимости $T_{2\max}$ от токов КЗ в интервале 20–50 кА имеют вид показательных функций. Величина $T_{2\max}$ может в несколько раз превышать тяжение провода в нормальном режиме. К примеру, $T_{2\max}$ при токе 50 кА в пролете длиной 36 м в 5 раз превысил тяжение до КЗ, равное 5 кН. Упругая податливость порталов уменьшает величину тяжения при КЗ. Порталы в большей степени влияют на тяжение средней фазы с увеличением начальных тяжений проводов до КЗ растут и $T_{2\max}$.

Стадии свободного движения провода после отключения КЗ соответствует третий максимум тяжения $T_{3\max}$. Кинетическая энергия провода, его положение в пространстве в конце КЗ определяют путь, по которому провод возвращается в исходное состояние. Этот максимум наступает при возврате провода в положение равновесия в момент прохода наиболее низкой точки траектории. В идеальном случае наибольшее тяжение свободного падения может быть достигнуто в том случае, если вся запасенная в процессе вынужденного движения механическая энергия преобразуется при вертикальном падении провода в энергию упругой деформации. В зависимости от геометрических размеров пролета $T_{3\max}$ может быть больше или меньше $T_{2\max}$.

Указанные сведения об электродинамическом воздействии токов КЗ на гибкие провода и влиянии различных факторов и конструктивных элементов токоведущих конструкций, полученные с помощью опытов, не являются исчерпывающими. Однако они дают ясное представление о динамике гибких проводов при КЗ и показывают всю сложность этой проблемы.

Литература

1. Система повышения надежности и живучести ЕЭС России / А.Ф. Дьяков, В.В. Жуков, В.Б. Козлов и др.: Под ред. А.Ф. Дьяков. – М. : Издательство МЭИ, 1996.

УДК 621.311

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТКЗ15

Кецко Р.А.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

В энергетических системах различают нормальный и ненормальный режимы работы. Ненормальные режимы работы вызваны преимущественно короткими замыканиями (КЗ). В электрической системе совпадают моменты выработки и потребления электрической энергии. При нормальном режиме существует баланс между потребляемой и производимой энергиями. Нормальный режим электрической системы характеризуется неизменностью параметров системы или медленным их изменением. Параметры энергосистем такие как: мощность, напряжение, ток, лежат в диапазоне заранее заданных значений. Отклонение от нормального режима связано с ухудшением качества энергии и с большими экономическими потерями. С резким изменением заданных параметров связаны аварийные режимы работы, их причиной, как правило, являются КЗ.

Короткое замыкание – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными потенциалами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Вследствие явления короткого замыкания резко увеличивается сила тока в электрической цепи. Из-за этого в электроустановках возникают большие механические усилия, и значительно повышается температура проводников, что может привести к повреждениям. Поэтому электрооборудование по режиму КЗ проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты проверяются также на коммутационную способность.

Надежный способ ликвидации аварии, это отключение поврежденного участка от электрической системы. Отключение происходит с помощью высоковольтных выключателей, которые срабатывают с помощью устройств релейной защиты и автоматики.

Виды коротких замыканий:

– трехфазное КЗ – является симметричным, так как сопротивления в трех фазах короткозамкнутой цепи будут одинаковыми. Трехфазное КЗ, как правило, является самым тяжелым видом короткого замыкания.

– двухфазное короткое замыкание – является несимметричным КЗ. Возникает между двумя фазами сети

– однофазное короткое замыкание - может происходить в сети с глухо-заземленной нейтралью (сети до 1 кВ) и с эффективно-заземленной нейтралью (сети 110 кВ и выше), когда один из проводов замкнут на землю.

– двухфазное КЗ на землю – это замыкание, когда два провода соединены между собой и замкнуты на землю.

Виды повреждения, которые сопровождаются многократной несимметрией (замыкание различных фаз в различных точках одновременно) называются сложными видами повреждений.

Основной причиной возникновения КЗ является нарушение изоляции линий, электрических аппаратов и др. электрооборудования.

Для расчета токов короткого замыкания предназначена программа ТКЗ15. Она ориентирована на расчет токов КЗ при выполнении курсовых и дипломных работ.

Программа позволяет рассчитать полное значение периодической составляющей сверхпереходного тока трехфазного, двухфазного, однофазного и двухфазного короткого замыкания на землю, симметричные составляющие этого тока, а также дает возможность определить распределение этих токов по ветвям схемы.

Несимметричные КЗ рассчитываются на основе метода симметричных составляющих, в соответствии с которым любую n -фазную систему несимметричных векторов можно разложить на n симметричных n -фазных систем. Трехфазную систему несимметричных векторов раскладывают на три симметричные трехфазные системы прямой, обратной и нулевой последовательности.

В нормальном режиме и режиме трехфазного КЗ, которые являются симметричными, протекают только токи прямой последовательности. В несимметричных режимах появляются составляющие токов обратной и нулевой последовательностей.

Для расчетов этих токов с помощью программы ТКЗ15 необходимо составить файл входных данных, в котором отражаются параметры схемы замещения в относительных или именованных единицах. Для построения схемы замещения узлы расчетной трехфазной системы нумеруются целыми цифрами в произвольном порядке. Для каждой ветви схемы замещения прямой последовательности задаются номера двух узлов (начала и конца), ЭДС, а также сопротивление. Узлам, которые соответствуют нейтралю обмоток генераторов и нагрузок в схеме замещения прямой последовательности задается номер 0.

Схема замещения нулевой последовательности строится только для той части схемы, которая работает с глухозаземленной нейтралью. В некоторых случаях она может не совпадать по конфигурации со схемой замещения прямой последовательности, и вследствие этого в схеме замещения нулевой последовательности могут появиться номера узлов, которые отсутствуют в схеме замещения прямой последовательности.

Программа позволяет производить расчет токов или только междуфазных КЗ, или токов всех видов КЗ. Информация в файле входных данных представляется в виде четырех блоков:

- блок общих данных;
- блок данных о ветвях схемы прямой последовательности;
- блок данных об узлах КЗ;
- блок данных о ветвях схемы нулевой последовательности (когда она задается во входных данных).

После ввода всей информации файлу входных данных присваивается имя типа AAAA.dat. Файл с таким именем заносится в программу ТКЗ15, в которой

происходит считывание информации. Далее в выходной файл выводятся результаты расчетов токов короткого замыкания, а также их составляющих, которые необходимо было рассчитать. Если узлов КЗ было задано несколько, то расчет производится циклично для каждого из них, а результаты выводятся в выходной файл, которому присваивается имя входного файла.

Программа включает в себя главную программу ТКЗ и подпрограмму ZHORTKA. Текст программы ТКЗ обеспечен комментариями, которые дают возможность понять реализацию алгоритмов, порядок создания файла исходных данных и расшифровки файла результатов.

Программа используется в основном в обучающих целях для расчета несложных схем в курсовом или дипломном проектировании. Применение этой программы для расчета объемных электрических схем вызывает значительные трудности из-за сложности ввода исходных данных, а также необходимости ручного расчета параметров схем замещения.

Литература

1. Бобко, Н.Н. Программа ТКЗ15 для расчета токов короткого замыкания на ЭВМ / Н.Н. Бобко. – Минск : БНТУ, 2016. – 14 с.
2. Математические задачи энергетики: учеб.-метод. пособие : в 8 ч. / БНТУ; авт.-сост. Н.Н. Бобко. – Минск ; БНТУ, 2000. – Ч. 4 : Программа для расчета токов короткого замыкания ТКЗ. – 34 с.
3. ГОСТ 27514-87. Короткое замыкание в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Издательство стандартов, 1988.
4. Крючков, И.П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов. – М. : Академия, 2006.

УДК 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Гаврилов Д.А., Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климович П.И.

Многие сложные электрические цепи достаточно тяжело поддаются анализу из-за многообразия элементов и узлов. Например, у нас есть схема сложной линейной цепи, представляющая собой развертку куба, в которой необходимо определить токи, протекающие в ветвях схемы (рисунок 1).

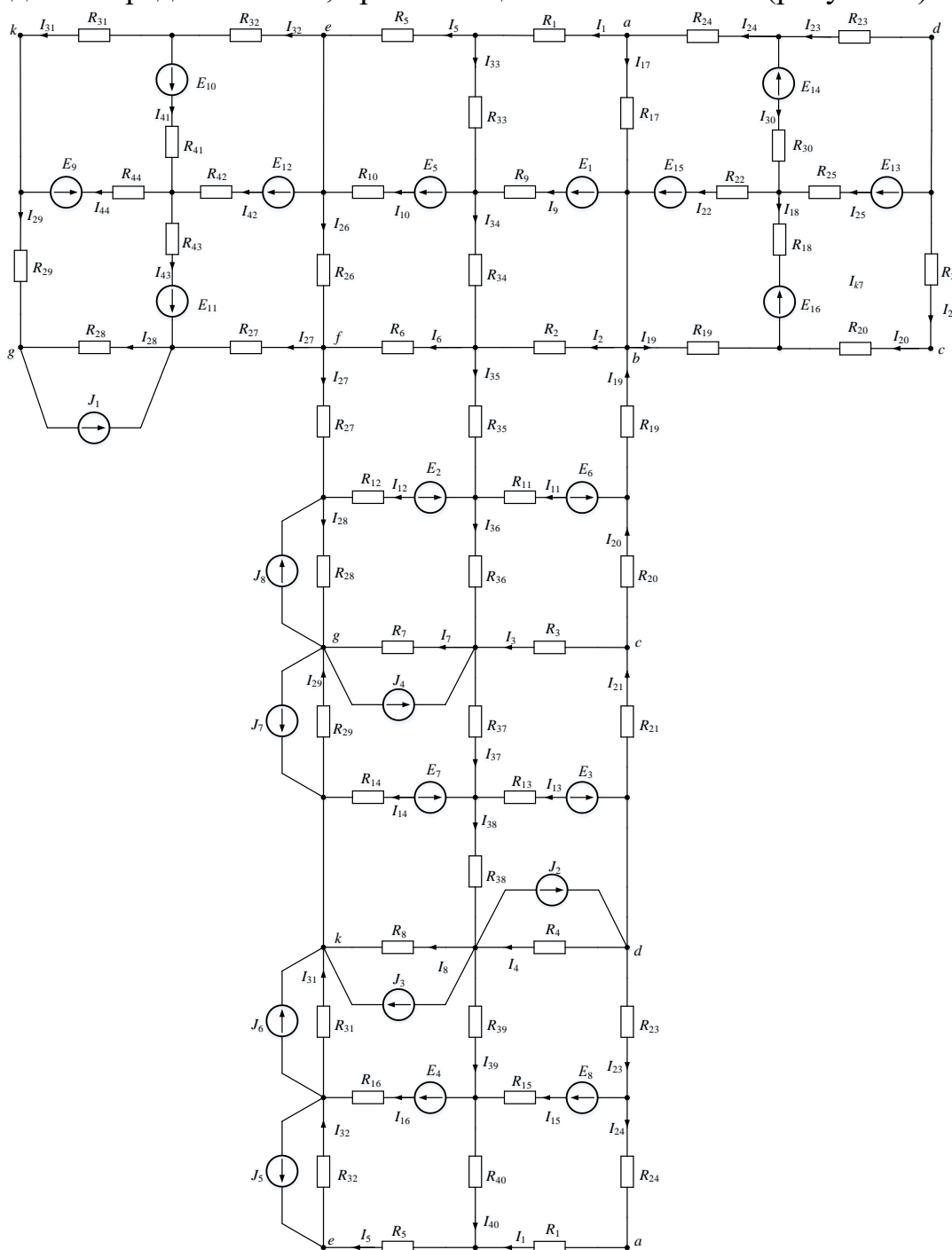


Рисунок 1 – Сложная электрическая цепь

В такой схеме хорошо просматриваются замкнутые контуры, которые можно использовать для расчета цепи по законам Кирхгофа или методом контурных токов, однако многие ветви цепи дублируются на схеме, что сильно усложняет ее анализ. Можно попробовать применить метод узловых потенциалов, однако некоторые узлы также дублируются, и при анализе цепи могут возникнуть ошибки.

Перейдем к схеме цепи, эквивалентной данной развертке (рисунок 1), на которой изобразим связь всех элементов без дублирования ветвей и узлов (рисунок 2).

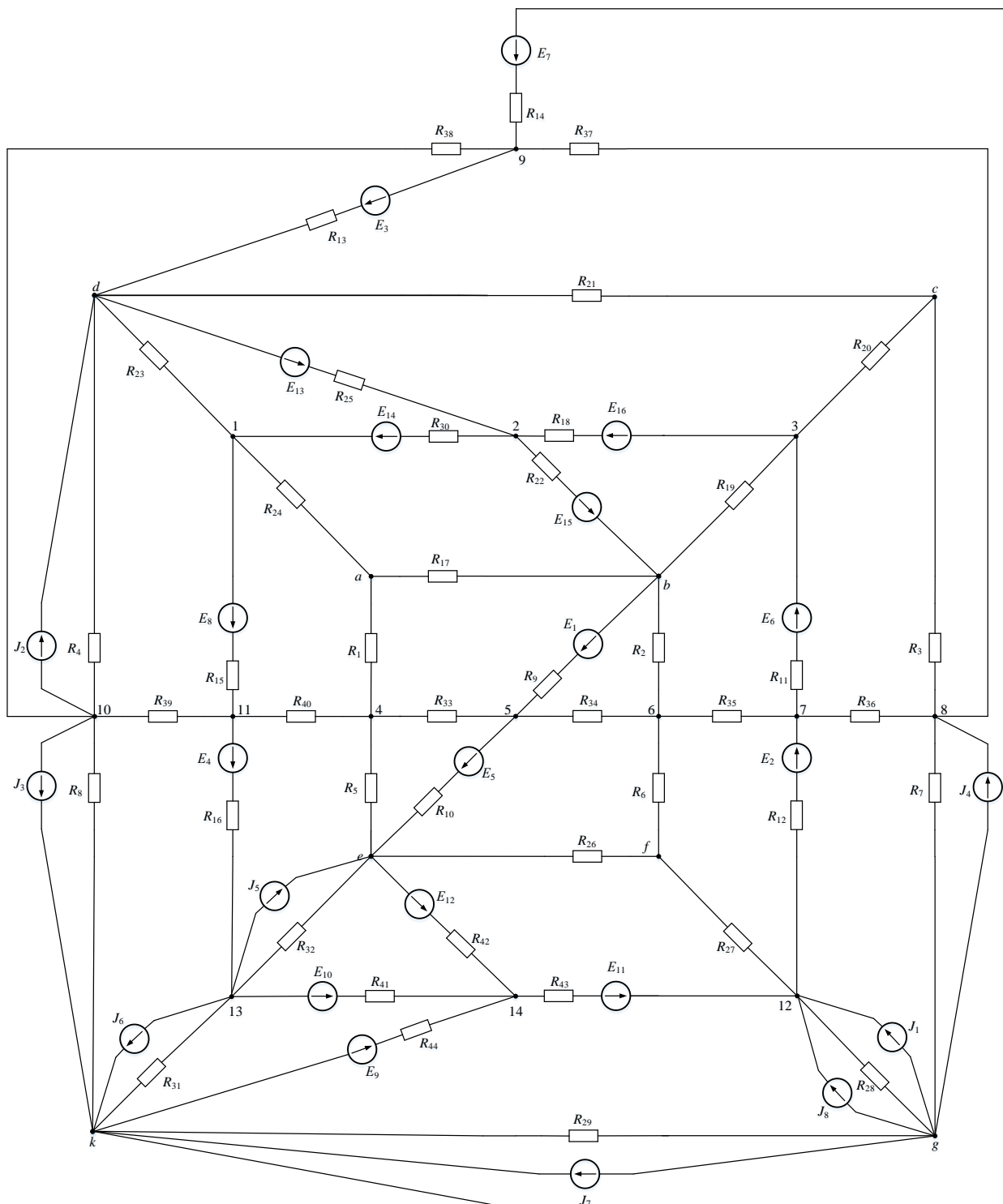


Рисунок 2 – Эквивалентная схема цепи

Такой переход позволяет увидеть связь между элементами электрической цепи, узлы и расположение относительно друг друга.

Так как схема все равно остается довольно сложной для быстрого анализа, можно представить ее 3D-модель, что позволит увидеть объемную схему и облегчит представление и понимание связей различных элементов. Создадим 3D-модель цепи (рисунок 3), используя систему автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

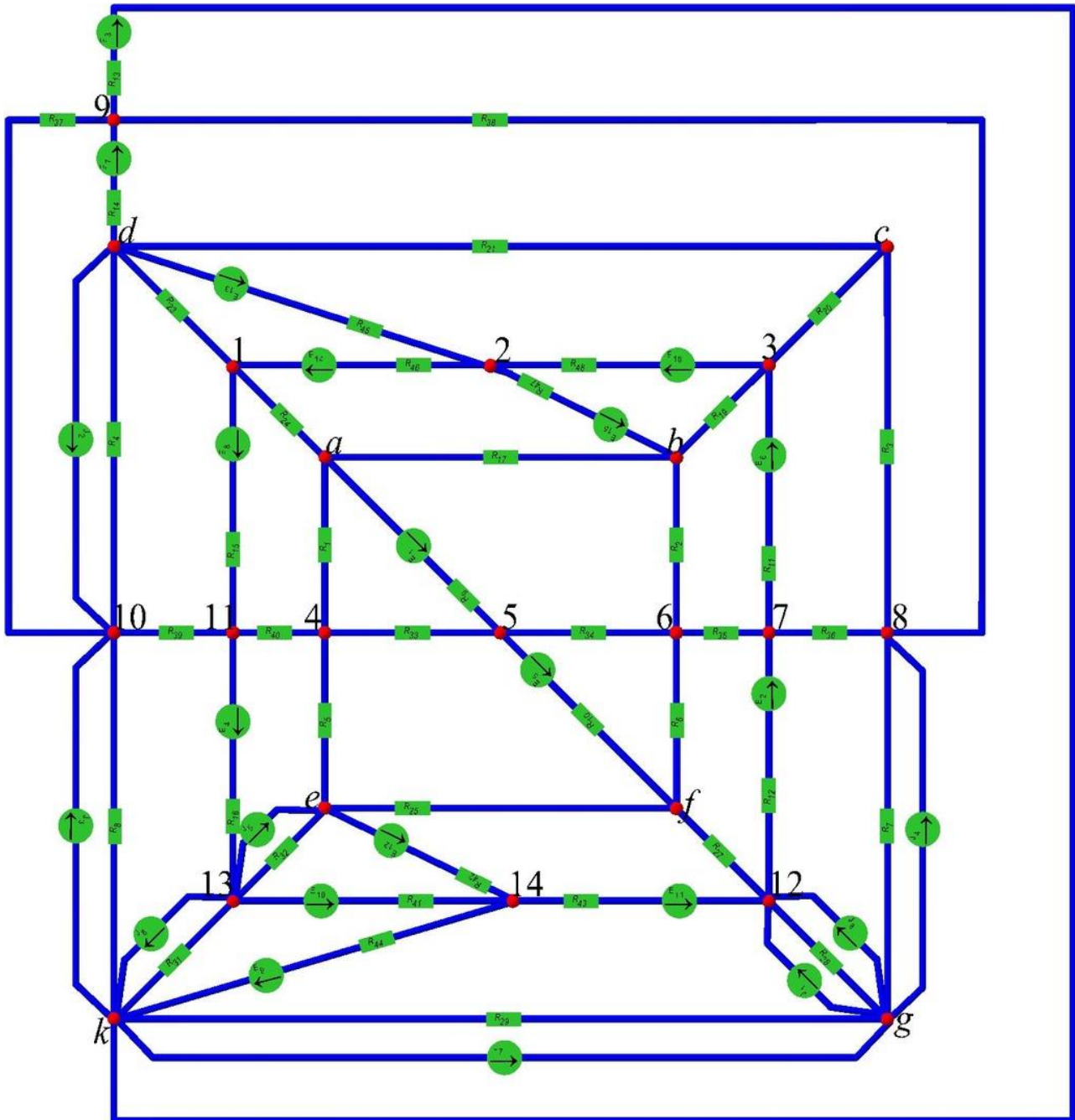


Рисунок 3 – 3D-модель схемы

В данном случае 3D-представление способствует наиболее простому восприятию схемы и позволяет четко видеть замкнутые контуры и связи между узлами. Теперь схему можно быстро рассчитать любым способом.

В качестве примера в системе компьютерной алгебры MathCAD выполним расчёт рассматриваемой электрической цепи методом узловых потенциалов. В данном случае использование метода узловых потенциалов предпочтительнее, так как методы по законам Кирхгофа и контурных токов требуют поиска независимых контуров, что является довольно сложной задачей для сложной электрической цепи, а методы свертки и эквивалентного генератора усложняются большим количеством источников тока и напряжения.

Составим систему уравнений (рисунок 4).

$$\begin{aligned}
 &V1 \cdot \left(\frac{1}{R23} + \frac{1}{R24} + \frac{1}{R15} + \frac{1}{R30} \right) - V2 \cdot \frac{1}{R30} - V11 \cdot \frac{1}{R15} - VA \cdot \frac{1}{R24} = \frac{-1 \cdot E8}{R15} + \frac{E14}{R30} \\
 &V2 \cdot \left(\frac{1}{R25} + \frac{1}{R18} + \frac{1}{R22} + \frac{1}{R30} \right) - V1 \cdot \frac{1}{R30} - V3 \cdot \frac{1}{R18} - VB \cdot \frac{1}{R22} = \frac{-1 \cdot E14}{R30} + \frac{E13}{R25} + \frac{E16}{R18} - \frac{E15}{R22} \\
 &V3 \cdot \left(\frac{1}{R18} + \frac{1}{R20} + \frac{1}{R19} + \frac{1}{R11} \right) - VC \cdot \frac{1}{R20} - V2 \cdot \frac{1}{R18} - VB \cdot \frac{1}{R19} - V7 \cdot \frac{1}{R11} = \frac{-1 \cdot E16}{R18} + \frac{E6}{R11} \\
 &V4 \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R33} + \frac{1}{R5} + \frac{1}{R40} \right) - VA \cdot \frac{1}{R1} - V5 \cdot \frac{1}{R33} - VE \cdot \frac{1}{R5} - V11 \cdot \frac{1}{R40} = 0 \\
 &V5 \cdot \left(\frac{1}{R9} + \frac{1}{R33} + \frac{1}{R34} + \frac{1}{R10} \right) - VB \cdot \frac{1}{R9} - V6 \cdot \frac{1}{R34} - VE \cdot \frac{1}{R10} - V4 \cdot \frac{1}{R33} = \frac{-1 \cdot E5}{R10} + \frac{E1}{R9} \\
 &V6 \cdot \left(\frac{1}{R2} + \frac{1}{R35} + \frac{1}{R34} + \frac{1}{R6} \right) - VB \cdot \frac{1}{R2} - V7 \cdot \frac{1}{R35} - VF \cdot \frac{1}{R6} - V5 \cdot \frac{1}{R34} = 0 \\
 &V7 \cdot \left(\frac{1}{R35} + \frac{1}{R11} + \frac{1}{R36} + \frac{1}{R12} \right) - V6 \cdot \frac{1}{R35} - V3 \cdot \frac{1}{R11} - V8 \cdot \frac{1}{R36} - V12 \cdot \frac{1}{R12} = \frac{-1 \cdot E6}{R11} + \frac{E2}{R12} \\
 &V8 \cdot \left(\frac{1}{R3} + \frac{1}{R36} + \frac{1}{R37} + \frac{1}{R7} \right) - VC \cdot \frac{1}{R3} - V7 \cdot \frac{1}{R36} - VG \cdot \frac{1}{R7} - V9 \cdot \frac{1}{R37} = J4 \\
 &V9 \cdot \left(\frac{1}{R13} + \frac{1}{R37} + \frac{1}{R38} + \frac{1}{R14} \right) - V8 \cdot \frac{1}{R37} - V10 \cdot \frac{1}{R38} - VK \cdot \frac{1}{R14} = \frac{-1 \cdot E3}{R13} + \frac{E7}{R14} \\
 &V10 \cdot \left(\frac{1}{R4} + \frac{1}{R39} + \frac{1}{R8} + \frac{1}{R38} \right) - V11 \cdot \frac{1}{R39} - VK \cdot \frac{1}{R8} - V9 \cdot \frac{1}{R38} = -J2 - J3 \\
 &V11 \cdot \left(\frac{1}{R15} + \frac{1}{R40} + \frac{1}{R16} + \frac{1}{R39} \right) - V1 \cdot \frac{1}{R15} - V4 \cdot \frac{1}{R40} - V13 \cdot \frac{1}{R16} - V10 \cdot \frac{1}{R39} = \frac{-1 \cdot E4}{R16} + \frac{E8}{R15} \\
 &V12 \cdot \left(\frac{1}{R43} + \frac{1}{R27} + \frac{1}{R28} + \frac{1}{R12} \right) - V14 \cdot \frac{1}{R43} - VF \cdot \frac{1}{R27} - VG \cdot \frac{1}{R28} - V7 \cdot \frac{1}{R12} = \frac{-1 \cdot E2}{R12} + \frac{E11}{R43} + J1 + J8 \\
 &V13 \cdot \left(\frac{1}{R32} + \frac{1}{R41} + \frac{1}{R31} + \frac{1}{R16} \right) - VE \cdot \frac{1}{R32} - V14 \cdot \frac{1}{R41} - VK \cdot \frac{1}{R31} - V11 \cdot \frac{1}{R16} = \frac{-1 \cdot E10}{R41} + \frac{E4}{R16} - J5 - J6 \\
 &V14 \cdot \left(\frac{1}{R42} + \frac{1}{R43} + \frac{1}{R44} + \frac{1}{R41} \right) - VE \cdot \frac{1}{R42} - V12 \cdot \frac{1}{R43} - VK \cdot \frac{1}{R44} - V13 \cdot \frac{1}{R41} = \frac{-1 \cdot E9}{R44} + \frac{E10}{R41} + \frac{E12}{R42} - \frac{E11}{R43} \\
 &VA \cdot \left(\frac{1}{R24} + \frac{1}{R17} + \frac{1}{R1} \right) - VB \cdot \frac{1}{R17} - V1 \cdot \frac{1}{R24} - V4 \cdot \frac{1}{R1} = 0 \\
 &VB \cdot \left(\frac{1}{R22} + \frac{1}{R19} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R17} + \frac{1}{R9} \right) - V3 \cdot \frac{1}{R19} - V2 \cdot \frac{1}{R22} - VA \cdot \frac{1}{R17} - V6 \cdot \frac{1}{R2} - V5 \cdot \frac{1}{R9} = \frac{-1 \cdot E1}{R9} + \frac{E15}{R22} \\
 &VC \cdot \left(\frac{1}{R20} + \frac{1}{R21} + \frac{1}{R3} \right) - V3 \cdot \frac{1}{R20} - V8 \cdot \frac{1}{R3} = 0 \\
 &VE \cdot \left(\frac{1}{R5} + \frac{1}{R10} + \frac{1}{R26} + \frac{1}{R42} + \frac{1}{R32} \right) - V4 \cdot \frac{1}{R5} - V5 \cdot \frac{1}{R10} - VF \cdot \frac{1}{R26} \dots = \frac{-1 \cdot E12}{R42} + \frac{E5}{R10} + J5 \\
 &+ -V14 \cdot \frac{1}{R42} - V13 \cdot \frac{1}{R32} \\
 &VF \cdot \left(\frac{1}{R6} + \frac{1}{R26} + \frac{1}{R27} \right) - VE \cdot \frac{1}{R26} - V6 \cdot \frac{1}{R6} - V12 \cdot \frac{1}{R27} = 0 \\
 &VG \cdot \left(\frac{1}{R28} + \frac{1}{R29} + \frac{1}{R7} \right) - V12 \cdot \frac{1}{R28} - VK \cdot \frac{1}{R29} - V8 \cdot \frac{1}{R7} = -J8 - J4 - J7 - J1 \\
 &VK \cdot \left(\frac{1}{R31} + \frac{1}{R44} + \frac{1}{R29} + \frac{1}{R14} + \frac{1}{R8} \right) - V13 \cdot \frac{1}{R31} - V14 \cdot \frac{1}{R44} - VG \cdot \frac{1}{R29} \dots = \frac{-1 \cdot E7}{R14} + \frac{E9}{R44} + J7 + J3 + J6 \\
 &+ -V9 \cdot \frac{1}{R14} - V10 \cdot \frac{1}{R8}
 \end{aligned}$$

Рисунок 4 – Система узловых уравнений в MathCAD

Далее с помощью закона Ома определим токи, протекающие в ветвях цепи (рисунок 5). Отрицательное значение тока говорит о том, что начальное направление протекания тока было выбрано неправильно.

$$\begin{array}{lll}
 I1 := \frac{V_{15} - V_4}{R1} = -0.592418 & I15 := \frac{V_1 - V_{11} + E8}{R15} = 0.475852 & I29 := \frac{V_{21} - V_{20}}{R29} = 0.637561 \\
 I2 := \frac{V_{16} - V_6}{R2} = -0.710147 & I16 := \frac{V_{11} - V_{13} + E4}{R16} = 1.563824 & I30 := \frac{V_1 - V_2 - E14}{R30} = -2.045095 \\
 I3 := \frac{V_{17} - V_8}{R3} = 0.479855 & I17 := \frac{V_{15} - V_{16}}{R17} = 0.035529 & I31 := \frac{V_{13} - V_{21}}{R31} = -0.231343 \\
 I4 := \frac{-V_{10}}{R4} = 0.525715 & I18 := \frac{V_2 - V_3 - E16}{R18} = 0.2369 & I32 := \frac{V_{18} - V_{13}}{R32} = 1.084185 \\
 I5 := \frac{V_4 - V_{18}}{R5} = 0.499424 & I19 := \frac{V_3 - V_{16}}{R19} = 0.144941 & I33 := \frac{V_4 - V_5}{R33} = -2.895263 \\
 I6 := \frac{V_6 - V_{19}}{R6} = 1.896295 & I20 := \frac{V_{17} - V_3}{R20} = -0.619233 & I34 := \frac{V_5 - V_6}{R34} = 4.559391 \\
 I7 := \frac{V_8 - V_{20}}{R7} = 0.579531 & I21 := \frac{-V_{17}}{R21} = -0.139379 & I35 := \frac{V_6 - V_7}{R35} = 1.952949 \\
 I8 := \frac{V_{10} - V_{21}}{R8} = -0.340782 & I22 := \frac{V_2 - V_{16} + E15}{R22} = 7.545306 & I36 := \frac{V_7 - V_8}{R36} = 2.06159 \\
 I9 := \frac{V_{16} - V_5 + E1}{R9} = 8.435922 & I23 := \frac{-V_1}{R23} = -2.126131 \quad + & I37 := \frac{V_8 - V_9}{R37} = 3.461913 \\
 I10 := \frac{V_5 - V_{18} + E5}{R10} = 0.981268 & I24 := \frac{V_1 - V_{15}}{R24} = -0.556889 & I38 := \frac{V_9 - V_{10}}{R38} = -0.381946 \\
 I11 := \frac{V_3 - V_7 - E6}{R11} = -0.527274 & I25 := \frac{E13 - V_2}{R25} = 9.827301 & I39 := \frac{V_{10} - V_{11}}{R39} = -0.715449 \\
 I12 := \frac{V_7 - V_{12} - E2}{R12} = -0.635914 & I26 := \frac{V_{18} - V_{19}}{R26} = -1.866741 & I40 := \frac{V_{11} - V_4}{R40} = -1.803421 \\
 I13 := \frac{-E3 - V_9}{R13} = -7.887506 & I27 := \frac{V_{19} - V_{12}}{R27} = 0.029554 & I41 := \frac{V_{13} - V_{14} + E10}{R41} = 0.079352 \\
 I14 := \frac{V_9 - V_{21} - E7}{R14} = -4.043647 & I28 := \frac{V_{12} - V_{20}}{R28} = 1.382908 & I42 := \frac{V_{18} - V_{14} + E12}{R42} = 3.063248 \\
 I43 := \frac{V_{14} - V_{12} + E11}{R43} = 1.289268 & I44 := \frac{V_{14} - V_{21} + E9}{R44} = 1.853332 &
 \end{array}$$

Рисунок 5 – Результаты вычислений

Как видно из представленного расчета, упрощение схемы и представление ее в 3D помогает сильно облегчить определение токов цепи. Кроме того, 3D-модель схемы дает возможность выделения различных участков цепи или ее элементов, что может значительно ускорить и облегчить процесс свертки схемы.

Литература

1. Мазуренко, А.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / А.А. Мазуренко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.

2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1978.
3. Бладыко, Ю.В. Применение MathCAD в решении задач электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / Ю.В. Бладыко, А.А. Мазуренко, И.В. Новаш ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2012.

УДК 621.311

ТЕРМОМОНИТОРИНГ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ EASERGY TH110 ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

Контактные соединения оборудования – это одна из наиболее критичных точек на подстанции, распределительных устройств, в особенности это касается высоковольтных кабельных соединений. Плохое контактное соединение и его потеря вызывают увеличение сопротивления в локализованных точках, что приводит к тепловому пробую и дальнейшему разрушению соединения, а следовательно, приводят к отказу электрооборудования и нарушения электроснабжения потребителей. Профилактическое техническое обслуживание в тяжелых условиях эксплуатации может быть затруднено из-за ограниченной доступности и видимости контактов. Непрерывный контроль температуры является наилучшим способом обнаружения соединений, находящихся под угрозой.

Easergy TH110 – беспроводной интеллектуальный датчик непрерывного беспроводного контроля температуры, устанавливаемых в наиболее критичных соединениях, что позволяет:

- предотвращать незапланированный простой оборудования за счет нахождения критического места на ранней стадии, а следовательно, предупреждаются незапланированные остановки электрооборудования (25 % отказов);

- увеличить безопасность обслуживающего персонала. Например, обслуживающему персоналу нет необходимости визуального контроля токоведущих частей для измерения их температуры при помощи тепловизоров, а необходимо просто подключиться к устройству, которое называется концентратором, которое собирает данные со всех термодатчиков, и проконтролировать значения температур;

- оптимизировать расходы на обслуживание. Это происходит за счет того, что ремонтные работы производятся в не запланированное время (хотя электрооборудование в это время может быть в исправном состоянии), а в необходимое время, также производятся необходимые работы, что сокращает расходы.

На рисунке 1 и в таблице 1 представлены внешний вид беспроводных датчиков TH110 и его характеристики.

Как видно, габаритные размеры термодатчика TH110 невелики, что позволяет устанавливать его практически в любые критичные точки (места соединений, контактов) не влияя на работу электрооборудования (например, трансформатор) или электрической установки (например, распределительное устройство). На рисунке 2 представлены места установки данного термодатчика TH110, на проходящих шинпроводах, отходящих кабельных линиях, на контактах выкатного выключателя, на кабельных адаптерах.



Рисунок 1 –Беспроводной датчик TH110

Таблица 1 – Характеристики датчика TH110

Источник питания	Не требует внешних источников питания
Точность	± 1 °C
Рабочий диапазон	От -25 до +115 °C
Беспроводной интерфейс	ZigBee Green Power 2,4 ГГц
Габаритные размеры – масса	31×31×13 мм – 15 г



Рисунок 2 – Места установки термодатчика TH110

Также некоторые заказчики (эксплуатирующие организации) могут задаться вопросами: «Возможна ли установка данного термодатчика TH110 в КРУ, которые уже находятся в эксплуатации длительное время?» и «Если возможна установка, какие нюансы могут ожидать?». Ответ достаточно прост, термодатчики TH110 можно устанавливать в КРУ, установленные и введенные в эксплуатацию уже продолжительное время, никаких ограничений и нюансов при их установке нет.

Данные датчики не требуют внешнего источника питания. Питание осуществляется за счет электромагнитного поля, создаваемого проводником (минимальный ток активации составляет 5 А).

Термодатчик ТН110 работает в паре с концентратором в удалении до 7 м. Использование протоколов Zigbee Green Power обеспечивает датчику надежную и устойчивую связь.

Недостатком, на сегодняшний день, является высокая стоимость данного датчика. Поэтому для рационального использования средств, их устанавливают не во все контактные соединения, а наиболее уязвимые места (в КРУ на отходящих линиях, а также в местах подключения КРУ к шинопроводам).

Таким образом, применение термодатчика ТН110 является оправданным, поскольку с его помощью производится 24/7 мониторинг контактных соединений, что позволяет в дальнейшем контролировать работу электрооборудования и при необходимости произвести своевременный ремонт и избежать негативных последствий при отказе оборудования.

Литература

1. Решения Schneider Electric по предиктивному управлению. – М. : Schneider Electric, 2018. – 40 с.
2. Каталог MCset Распределительные устройства с воздушной изоляцией до 10 кВ. – М. : Schneider Electric, 2020. – 96 с.

УДК 621.316.542.9

**ФУНКЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ
В ТЕРМИНАЛАХ АВТОМАТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ**

Шавлюкевич Р.В.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

Основными требованиями, предъявляемыми к электроснабжению потребителей, являются надежность и бесперебойность подачи электроэнергии. При больших протяженностях линий электропередач (ЛЭП) на них могут воздействовать различные природные и физические процессы, которые вызывают короткие замыкания. В таких случаях происходят отключения поврежденных ЛЭП. 50–90 % от всех повреждений являются неустойчивые повреждения. Для самоустранения таких повреждений достаточно отключить линию собственными защитами, а после включить системой автоматического повторного включения (АПВ).

АПВ подразделяется на успешное, при котором повреждение самоустранилось, и неуспешное, после которого повреждение сохранилось и требуется повторное отключение.

Устройства АПВ позволяют сократить численность оперативного персонала на подстанциях вплоть до полной автоматизации при сочетании с другими средствами релейной защиты и автоматики. В ряде случаев АПВ позволяет избежать тяжелых последствий из-за ошибочных действий обслуживающего персонала или при ложных срабатываниях релейной защиты на защищаемом участке.

По правилам ПУЭ в обязательном порядке должны быть снабжены все воздушные и кабельные линии с рабочим напряжением 1 кВ и выше. Также устройствами АПВ снабжаются трансформаторы, сборные шины и электродвигатели.

В зависимости от количества фаз, на которые действует АПВ, их разделяют на:

- однофазное АПВ – включает одну фазу;
- трёхфазное АПВ – включает все три фазы участка цепи;
- комбинированные АПВ – включает одну или три фазы в зависимости от характера повреждения участка цепи.

Трёхфазные устройства АПВ могут в зависимости от условий работы сети подразделяться на:

- простые (ТАПВ);
- несинхронные (НАПВ);
- быстродействующие (БАПВ);
- с проверкой наличия напряжения (АПВНН);
- с проверкой отсутствия напряжения (АПВОН);
- с ожиданием синхронизма (АПВУС);
- с улавливанием синхронизма (АПВУС);
- в сочетании с самосинхронизацией генераторов и синхронных компенсаторов (АПВС);

– частотное (ЧАПВ).

По способу воздействия ан выключатель АПВ могут быть механическими, в состав которых входит пружинный привод, и электрическими, которые воздействуют на электромагнит отключения выключателя.

Для обеспечения защиты линий, контроля параметров и реализации АПВ, в настоящее время используют электрические шкафы, в состав которых входят все необходимые для этого компоненты. Как пример – шкаф электрический ШЭ2607 019 для релейной защиты и автоматики подстанционного оборудования на напряжение 110–220 кВ.

Шкаф выполняет следующие функции:

- защиты от неполнофазного режима (ЗНФР);
- защиты от непереключения фаз (ЗНФ);
- автоматики управления выключателями (АУВ);
- АПВ;
- устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ).

Функция АУВ обеспечивает прием команд включения и отключения, контроль и фиксацию положения, блокировку от многократных включений. Пуск АПВ (однократного или двукратного) осуществляется с контролем напряжения на шинах и линии (контроль отсутствия, наличия или синхронизма напряжений). При улавливании синхронизма фиксируется разность модулей векторов напряжений с обеих сторон выключателя, разность углов между векторами напряжений и разность их частот.

Функция УРОВ реализует принцип индивидуального устройства, причём возможно выполнение универсального УРОВ как по схеме с дублирующим пуском, так и по схеме с автоматической проверкой исправности выключателя.

Панели АПВ-503 применяются для автоматического повторного включения ЛЭП совместно с релейными защитами на напряжение 330–500 кВ.

Она содержит два комплекта ТПАВ, один комплект ОАПВ и дистанционные избирательные органы (реле сопротивления).

7SA6 Siprotec 4 Siemens – это устройство дистанционной релейной защиты для всех классов напряжений.

Особенностями данного устройства является:

- 6-ти контурная защита без переключения входных величин;
- защита от замыканий на землю через большое переходное сопротивление, позволяющая производить как однофазные, так и трёхфазные отключения;
- обнаружение коротких замыканий на землю в сетях с изолированной и с компенсированной нейтралью;
- дистанционная защита с ВЧ управлением;
- определение места повреждения;
- обнаружение качаний мощности;
- токовая защита;
- защита от включения на повреждение;
- токовая защита на вводе с блокировкой от защит фидеров;
- защита от повышения/понижения напряжения;

- защита от повышения/понижения частоты;
- автоматическое повторное включение (АПВ);
- контроль синхронизма;
- защита от отказа выключателя (УРОВ);
- защита от тепловой перегрузки.

Пуск АПВ характеризуется фиксацией первой команды отключения КЗ в сети, которая вырабатывается защитой, работающей совместно с АПВ. Т. е. при многократном АПВ пуск выполняется только один раз при подаче первой команды отключения. Для корректной работы функции АПВ необходимо определять текущее состояние силового выключателя.

Для каждой функции защиты с помощью устанавливаемого параметра можно определить, должна ли она работать с АПВ или нет, т. е. должна ли она запускать АПВ или нет.

7SA6 позволяет выполнять до 8-ми циклов АПВ, при этом первые четыре цикла выполняются с независимыми параметрами выдержки времени действия и паузы. Каждый цикл в принципе проходит так, как описано выше для разных программ АПВ. Однако, если первый цикл повторного включения неуспешен, то АПВ не запрещается, а начинается следующий цикл.

Если какой-либо цикл АПВ оказывается успешным, т. е. КЗ устраняется до истечения набора выдержки времени запрета, то все функции приходят в исходное состояние. Повреждение ликвидировано.

Если ни один из циклов не оказался успешным, то после последнего допустимого цикла АПВ защита выполнит окончательное отключение. АПВ запрещается динамически.

Устройства АПВ линий должны выбираться в первую очередь исходя из выполняемых ими функций и условий совместимости с прочим оборудованием, а во вторую – по экономическим соображениям.

УДК 621.38

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СЛОЖНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

Арутюнов М.А., Гаврилов Д.А., Мешкова А.Н., Рябцев И.А., Хитев Н.Р.
Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климович П.И.

Здания, а также помещения в них имеют кубическую форму, поэтому можно заметить, что проводка, расположенная в стенах и потолке, находится в пространстве и ее можно представить, как объемную электрическую цепь.

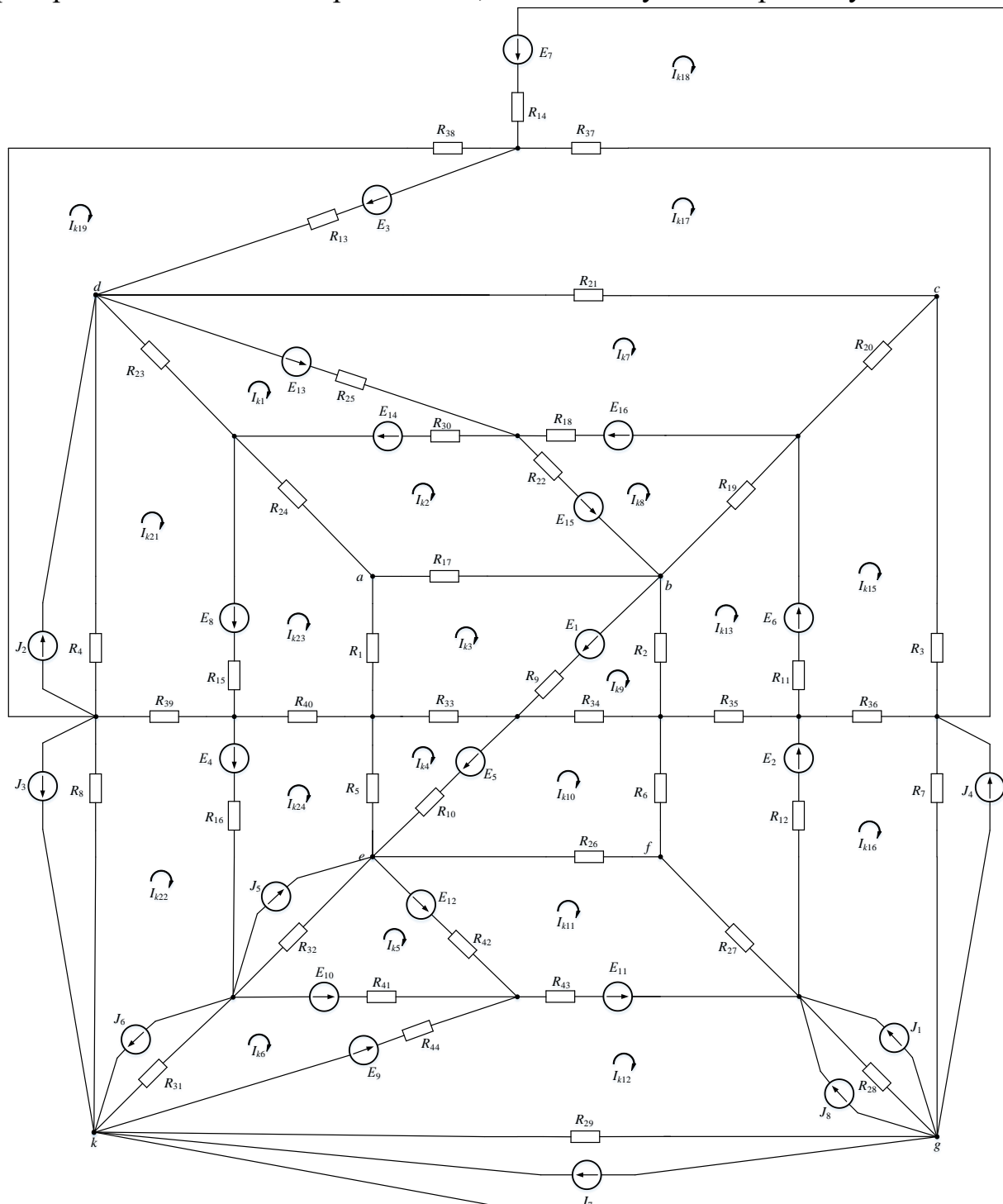


Рисунок 1 – Схема электрической цепи постоянного тока

В [1] была рассмотрена достаточно сложная электрическая цепь постоянного тока (рисунок 1), решение которой может вызвать затруднения. Но что, если посмотреть на нее под другим углом. Построим объемную 3D-модель упомянутой электрической цепи (рисунок 2).

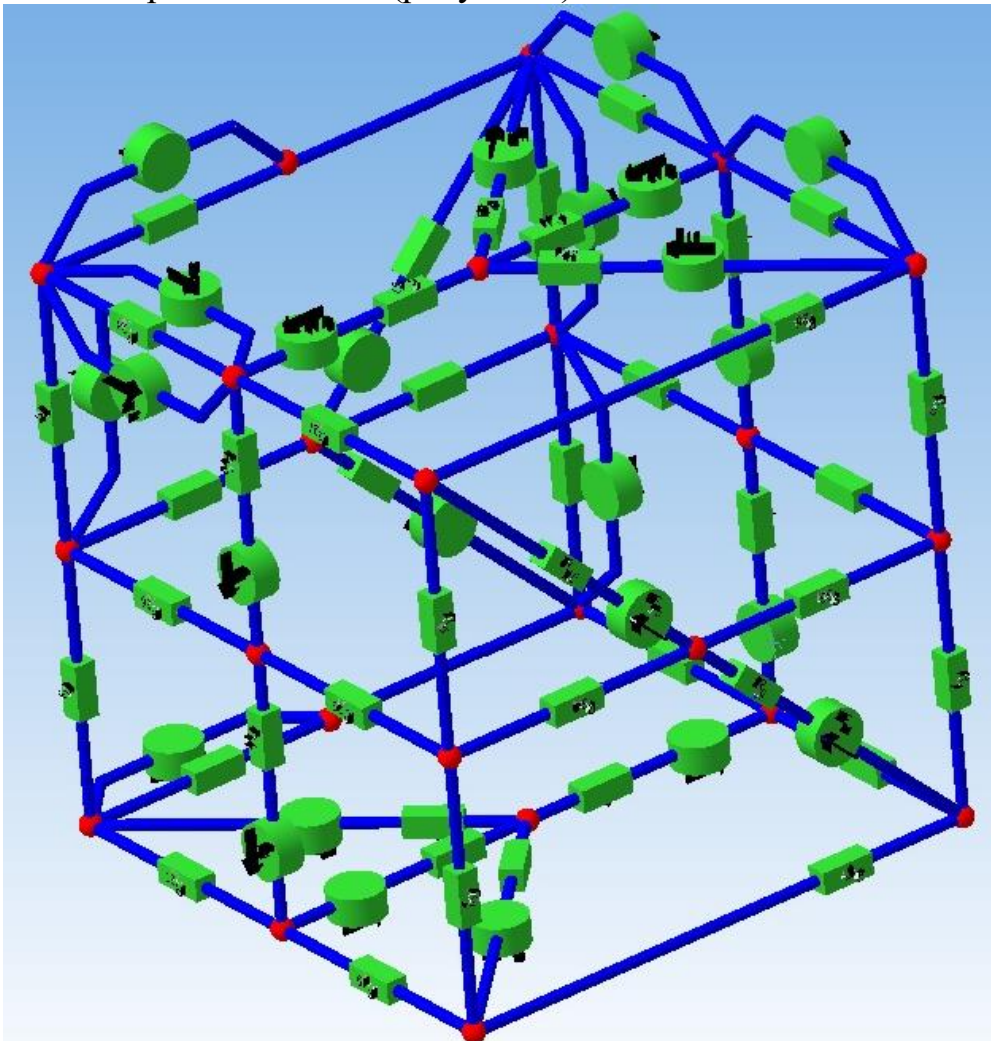


Рисунок 2 – 3D-модель схемы электрической цепи

Благодаря 3D мы имеем более полное понимание о данной электрической цепи, у нас есть возможность видеть расположение всех элементов и то, как они связаны друг с другом.

В [1] расчет рассматриваемой цепи был выполнен методом узловых потенциалов. В данной работе приведем расчет схемы методом контурных токов и проиллюстрируем преимущества объемного представления для определения независимых контуров.

В MS Visio составим «3D-скелет» исследуемого объекта (рисунок 3). Такое представление упрощает определение методом направленных графов независимых контуров, необходимых при расчете цепи. На рисунке 3 красной линией выделен подграф дерева.

Независимые контуры определяются следующим образом: необходимо поочередно добавлять незадействованные ветви схемы в подграф дерева, так чтобы образовывались замкнутые контуры. Пример применения данного метода представлен на рисунке 4.

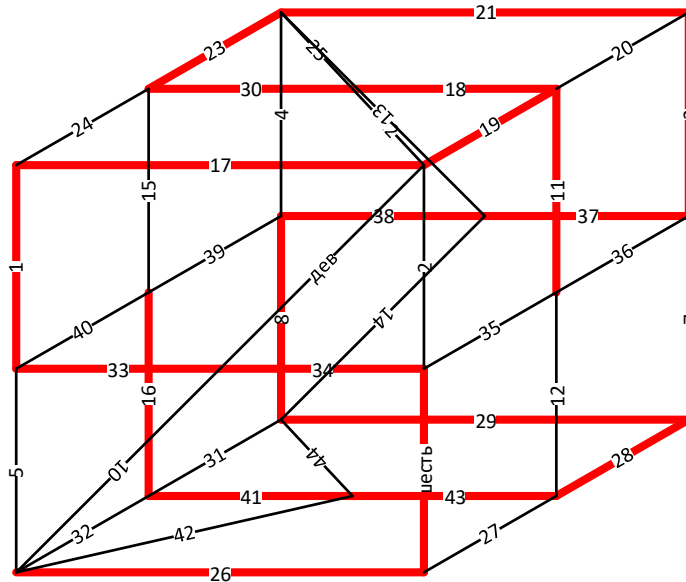


Рисунок 3 – Дерево графа

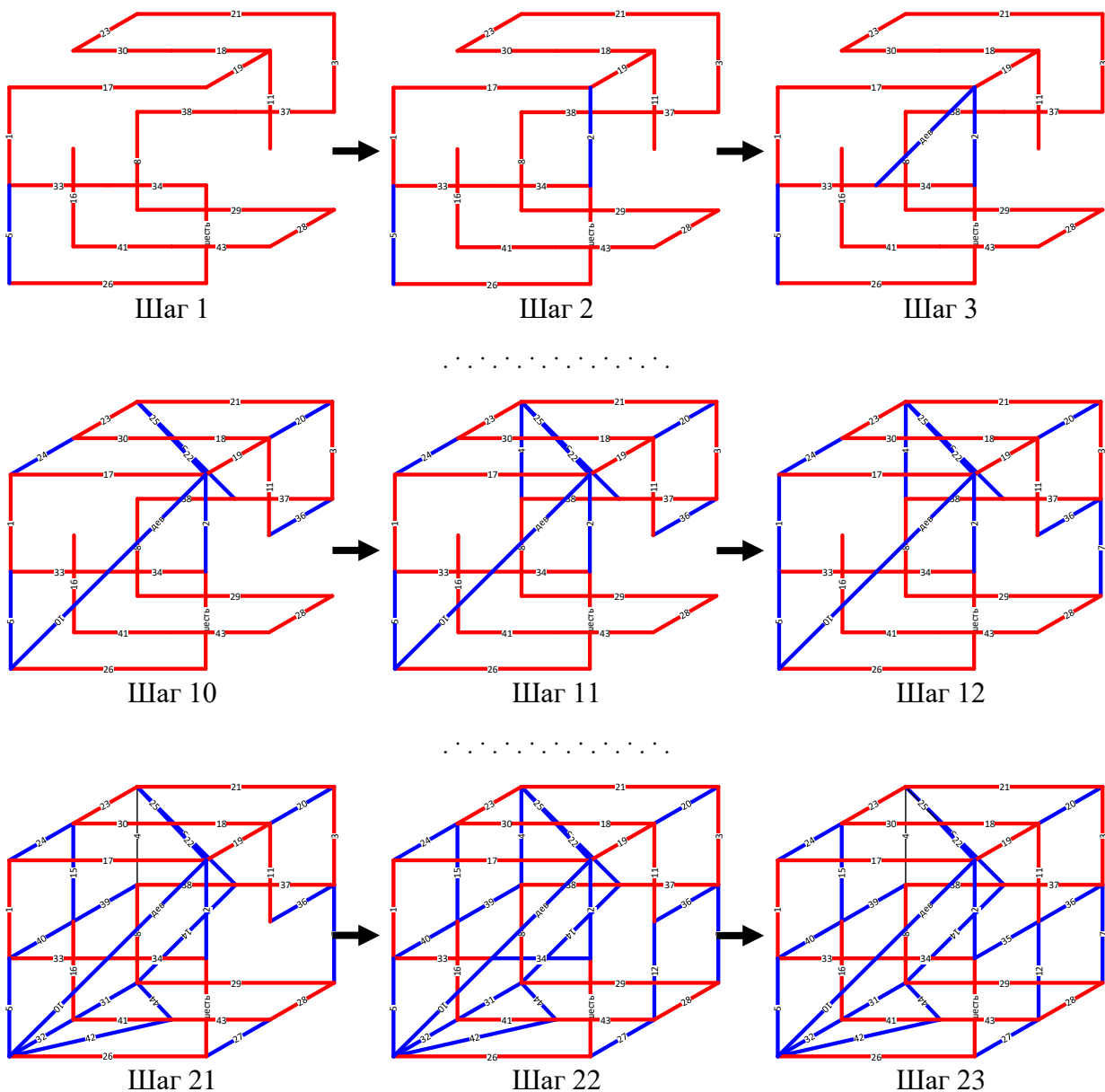


Рисунок 4 – Определение независимых контуров схемы

Таким образом, 3D помогает визуализировать схему, а следовательно, оптимизирует поиск решения и расчеты цепи. В нашем случае расчет выполним методом контурных токов в среде вычислительной математики MathCAD. Система уравнений для нахождения контурных токов представлена на рисунке 5, искомые токи – на рисунке 6.

Given

$$\begin{aligned}
 &IK_1 \cdot (R_{25} + R_{30} + R_{23}) - IK_7 \cdot R_{25} - IK_2 \cdot R_{30} - IK_{21} \cdot R_{23} = E_{13} + E_{14} \\
 &IK_2 \cdot (R_{22} + R_{17} + R_{24} + R_{30}) - IK_8 \cdot R_{22} - IK_3 \cdot R_{17} - IK_{23} \cdot R_{24} - IK_1 \cdot R_{30} = E_{15} - E_{14} \\
 &IK_3 \cdot (R_1 + R_{33} + R_9 + R_{17}) - IK_9 \cdot R_9 - IK_4 \cdot R_{33} - IK_{23} \cdot R_1 - IK_2 \cdot R_{17} = E_1 \\
 &IK_4 \cdot (R_5 + R_{33} + R_{10}) - IK_{10} \cdot R_{10} - IK_3 \cdot R_{33} - IK_{24} \cdot R_5 = E_5 \\
 &IK_5 \cdot (R_{41} + R_{42} + R_{32}) - IK_{11} \cdot R_{42} - IK_6 \cdot R_{41} - IK_{24} \cdot R_{32} - J_5 \cdot R_{32} = E_{12} - E_{10} \\
 &IK_6 \cdot (R_{31} + R_{41} + R_{44}) - IK_5 \cdot R_{41} - IK_{12} \cdot R_{44} - IK_{22} \cdot R_{31} + J_6 \cdot R_{31} = E_9 + E_{10} \\
 &IK_7 \cdot (R_{21} + R_{25} + R_{18} + R_{20}) - IK_1 \cdot R_{25} - IK_8 \cdot R_{18} - IK_{17} \cdot R_{21} - IK_{15} \cdot R_{20} = E_{16} - E_{13} \\
 &IK_8 \cdot (R_{22} + R_{18} + R_{19}) - IK_2 \cdot R_{22} - IK_{13} \cdot R_{19} - IK_7 \cdot R_{18} = -E_{15} - E_{16} \\
 &IK_9 \cdot (R_9 + R_{34} + R_2) - IK_{10} \cdot R_{34} - IK_3 \cdot R_9 - IK_{13} \cdot R_2 = -E_1 \\
 &IK_{10} \cdot (R_{10} + R_{26} + R_6 + R_{34}) - IK_9 \cdot R_{34} - IK_4 \cdot R_{10} - IK_{11} \cdot R_{26} = -E_5 \\
 &IK_{11} \cdot (R_{42} + R_{43} + R_{27} + R_{26}) - IK_{10} \cdot R_{26} - IK_5 \cdot R_{42} - IK_{12} \cdot R_{43} = -E_{11} - E_{12} \\
 &IK_{12} \cdot (R_{44} + R_{43} + R_{29} + R_{28}) - IK_{11} \cdot R_{43} - IK_6 \cdot R_{44} - IK_{18} \cdot R_{29} - IK_{16} \cdot R_{28} - J_7 \cdot R_{29} + J_8 \cdot R_{28} + J_1 \cdot R_{28} = E_{11} - E_9 \\
 &IK_{13} \cdot (R_{19} + R_{11} + R_{35} + R_2) - IK_9 \cdot R_2 - IK_{15} \cdot R_{11} - IK_8 \cdot R_{19} = -E_6 \\
 &IK_{15} \cdot (R_{20} + R_3 + R_{36} + R_{11}) - IK_{17} \cdot R_3 - IK_{16} \cdot R_{36} - IK_{13} \cdot R_{11} - IK_7 \cdot R_{20} = E_6 \\
 &IK_{16} \cdot (R_{12} + R_{36} + R_7 + R_{28}) - IK_{15} \cdot R_{36} - IK_{18} \cdot R_7 - IK_{12} \cdot R_{28} + J_4 \cdot R_7 - J_8 \cdot R_{28} - J_1 \cdot R_{28} = E_2 \\
 &IK_{17} \cdot (R_3 + R_{21} + R_{13} + R_{37}) - IK_{15} \cdot R_3 - IK_{18} \cdot R_{37} - IK_{19} \cdot R_{13} - IK_7 \cdot R_{21} = -E_3 \\
 &IK_{18} \cdot (R_{37} + R_7 + R_{29} + R_{14}) - IK_{17} \cdot R_{37} - IK_{20} \cdot R_{14} - IK_{16} \cdot R_7 - IK_{12} \cdot R_{29} - J_4 \cdot R_7 + J_7 \cdot R_{29} = -E_7 \\
 &IK_{19} \cdot (R_{13} + R_{38} + R_4) - IK_{20} \cdot R_{38} - IK_{21} \cdot R_4 - IK_{17} \cdot R_{13} + J_2 \cdot R_4 = E_3 \\
 &IK_{20} \cdot (R_{14} + R_{38} + R_8) - IK_{18} \cdot R_{14} - IK_{19} \cdot R_{38} - IK_{22} \cdot R_8 - J_3 \cdot R_8 = E_7 \\
 &IK_{21} \cdot (R_4 + R_{39} + R_{15} + R_{23}) - IK_{23} \cdot R_{15} - IK_{22} \cdot R_{39} - IK_{19} \cdot R_4 - IK_1 \cdot R_{23} - J_2 \cdot R_4 = E_8 \\
 &IK_{22} \cdot (R_{39} + R_8 + R_{31} + R_{16}) - IK_{21} \cdot R_{39} - IK_{20} \cdot R_8 - IK_{24} \cdot R_{16} - IK_6 \cdot R_{31} - J_6 \cdot R_{31} + J_3 \cdot R_8 = E_4 \\
 &IK_{23} \cdot (R_{24} + R_1 + R_{40} + R_{15}) - IK_{24} \cdot R_{40} - IK_{21} \cdot R_{15} - IK_2 \cdot R_{24} - IK_3 \cdot R_1 = -E_8 \\
 &IK_{24} \cdot (R_{40} + R_5 + R_{32} + R_{16}) - IK_{23} \cdot R_{40} - IK_{22} \cdot R_{16} - IK_4 \cdot R_5 - IK_5 \cdot R_{32} + J_5 \cdot R_{32} = -E_4
 \end{aligned}$$

$$\underline{IK} := \text{Find}(IK_1, IK_2, IK_3, IK_4, IK_5, IK_6, IK_7, IK_8, IK_9, IK_{10}, IK_{11}, IK_{12}, IK_{13}, IK_{14}, IK_{15}, IK_{16}, IK_{17}, IK_{18}, IK_{19}, IK_{20}, IK_{21}, IK_{22}, IK_{23}, IK_{24})$$

Рисунок 5 – Система уравнений контурных токов в MathCAD

$I1 := IK_{23} - IK_3 = -0.5924$	$I12 := (-IK)_{16} = -0.6359$	$I23 := IK_{21} - IK_1 = -2.126$	$I34 := IK_{10} - IK_9 = 4.559$
$I2 := IK_9 - IK_{13} = -0.7101$	$I13 := IK_{17} - IK_{19} = -7.888$	$I24 := IK_{23} - IK_2 = -0.5569$	$I35 := -IK_{13} = 1.953$
$I3 := IK_{15} - IK_{17} = 0.4799$	$I14 := IK_{18} - IK_{20} = -4.044$	$I25 := IK_1 - IK_7 = 9.827$	$I36 := IK_{16} - IK_{15} = 2.062$
$I4 := IK_{19} - IK_{21} + J_2 = 0.5257$	$I15 := IK_{21} - IK_{23} = 0.4759$	$I26 := IK_{11} - IK_{10} = -1.867$	$I37 := IK_{18} - IK_{17} = 3.462$
$I5 := IK_{24} - IK_4 = 0.4994$	$I16 := IK_{22} - IK_{24} = 1.564$	$I27 := IK_{11} = 0.02955$	$I38 := IK_{20} - IK_{19} = -0.3819$
$I6 := IK_{10} = 1.896$	$I17 := IK_3 - IK_2 = 0.03553$	$I28 := IK_{12} - IK_{16} + J_8 + J_1 = 1.383$	$I39 := IK_{22} - IK_{21} = -0.7154$
$I7 := IK_{16} - IK_{18} + J_4 = 0.5795$	$I18 := IK_8 - IK_7 = 0.2369$	$I29 := IK_{18} - IK_{12} + J_7 = 0.6376$	$I40 := IK_{24} - IK_{23} = -1.803$
$I8 := IK_{20} - IK_{22} - J_3 = -0.3408$	$I19 := IK_8 - IK_{13} = 0.1449$	$I30 := IK_2 - IK_1 = -2.045$	$I41 := IK_6 - IK_5 = 0.07935$
$I9 := IK_3 - IK_9 = 8.436$	$I20 := IK_7 - IK_{15} = -0.6192$	$I31 := IK_{22} - IK_6 - J_6 = -0.2313$	$I42 := IK_5 - IK_{11} = 3.063$
$I10 := IK_4 - IK_{10} = 0.9813$	$I21 := IK_7 - IK_{17} = -0.1394$	$I32 := IK_{24} - IK_5 + J_5 = 1.084$	$I43 := IK_{12} - IK_{11} = 1.289$
$I11 := IK_{13} - IK_{15} = -0.5273$	$I22 := IK_2 - IK_8 = 7.545$	$I33 := IK_4 - IK_3 = -2.895$	$I44 := IK_6 - IK_{12} = 1.853$

Рисунок 6 – Результаты вычислений MathCAD

Составить модель данной схемы и расчитать ее параметры можно и в специализированном программном обеспечении, к примеру в пакете программ Electronics Workbench, в пакете программ MultiSIM BLUE или в системе

динамического моделирования Simulink MatLab. Однако они позволяют построить схему только на плоскости, поэтому прежде всего необходимо понять, как правильно подключить провода в цепи.

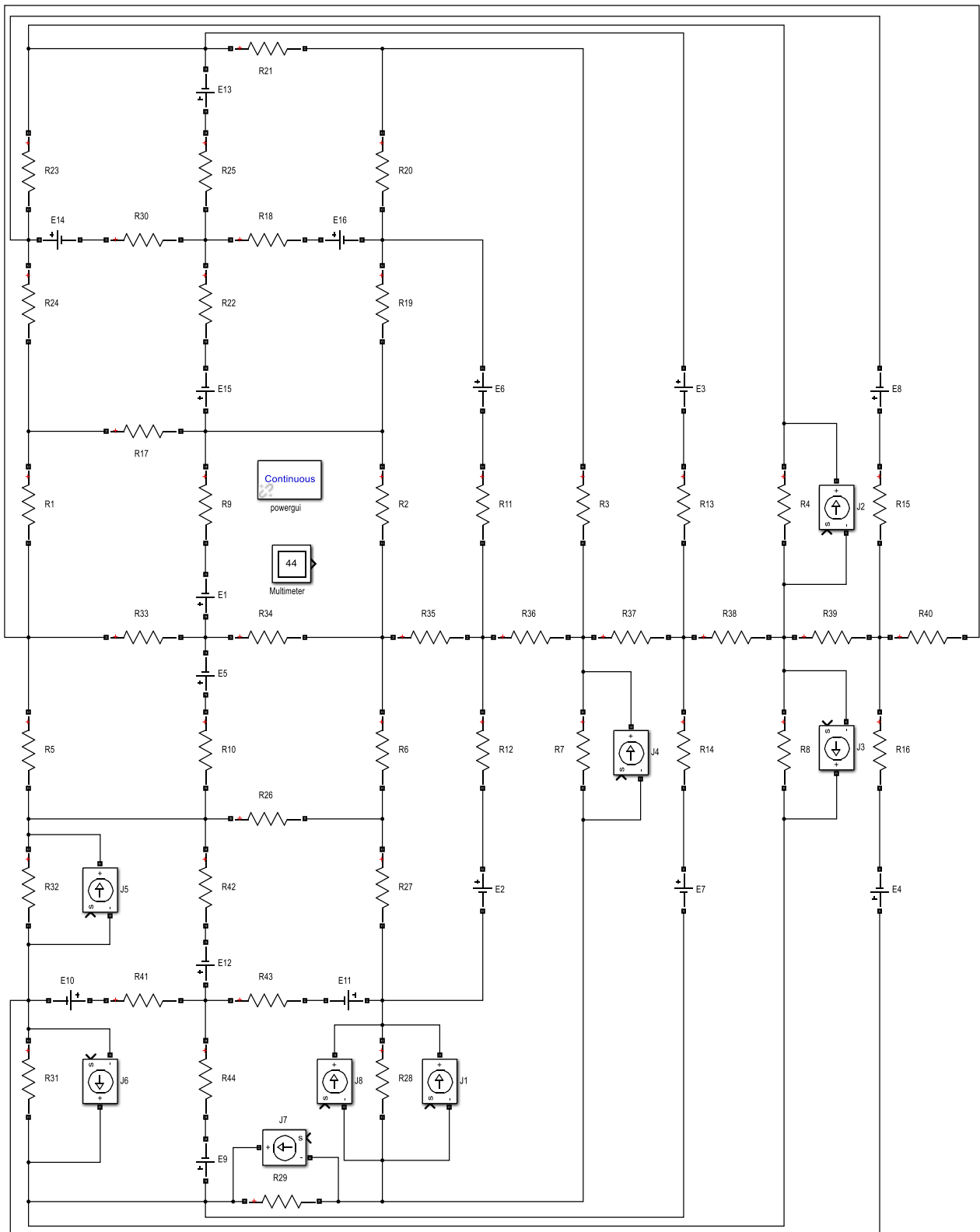


Рисунок 7 – Модель исходной схемы постоянного тока в Simulink

Приведем модель и результаты моделирования в Simulink на рисунках 7 и 8. Значения, полученные в Simulink, можно использовать как эталон

вычислений, поскольку все расчеты происходят автоматически в соответствии с собранной схемой. Несовпадения могут возникнуть исключительно в силу человеческого фактора.

Токи, полученные в среде имитационного моделирования Simulink (рисунок 8), и токи, рассчитанные в программе MathCAD (рисунок 6), совпадают. Из чего можно сделать вывод, что система уравнений составлена корректно и расчеты выполнены верно.

'Ib: R1 ' = -0.5924 A	'Ib: R23' = -2.126 A
'Ib: R2 ' = -0.7101 A	'Ib: R24' = -0.5569 A
'Ib: R3 ' = 0.4799 A	'Ib: R25' = 9.827 A
'Ib: R4 ' = 0.5257 A	'Ib: R26' = -1.867 A
'Ib: R5 ' = 0.4994 A	'Ib: R27' = 0.02955 A
'Ib: R6 ' = 1.896 A	'Ib: R28' = 1.383 A
'Ib: R7 ' = 0.5795 A	'Ib: R29' = 0.6376 A
'Ib: R8 ' = -0.3408 A	'Ib: R30' = -2.045 A
'Ib: R9 ' = 8.436 A	'Ib: R31' = -0.2313 A
'Ib: R10' = 0.9813 A	'Ib: R32' = 1.084 A
'Ib: R11' = -0.5273 A	'Ib: R33' = -2.895 A
'Ib: R12' = -0.6359 A	'Ib: R34' = 4.559 A
'Ib: R13' = -7.888 A	'Ib: R35' = 1.953 A
'Ib: R14' = -4.044 A	'Ib: R36' = 2.062 A
'Ib: R15' = 0.4759 A	'Ib: R37' = 3.462 A
'Ib: R16' = 1.564 A	'Ib: R38' = -0.3819 A
'Ib: R17' = 0.03553 A	'Ib: R39' = -0.7154 A
'Ib: R18' = 0.2369 A	'Ib: R40' = -1.803 A
'Ib: R19' = 0.1449 A	'Ib: R41' = 0.07935 A
'Ib: R20' = -0.6192 A	'Ib: R42' = 3.063 A
'Ib: R21' = -0.1394 A	'Ib: R43' = 1.289 A
'Ib: R22' = 7.545 A	'Ib: R44' = 1.853 A

Рисунок 8 – Результаты моделирования цепи постоянного тока в Simulink

Литература

1. Гаврилов, Д.А. Применение 3D-моделирования для расчета установившихся режимов электрических цепей / Д.А. Гаврилов, А.Н. Мешкова ; науч. рук. И.В. Новаш, П.И. Климович // Актуальные проблемы энергетики 2020 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 37–42.
2. Мазуренко, А.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / А.А. Мазуренко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.
3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1978.
4. Бладыко, Ю.В. Применение MathCAD в решении задач электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / Ю.В. Бладыко, А.А. Мазуренко, И.В. Новаш ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2012..

УДК 621.311

**СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИИ
ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА**

Соленик Г.Л.

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

Из [2] известно, что лобовые части обмотки электродвигателей и генераторов, участок катушек за пределами сердечника статора, могут вибрировать во время эксплуатации. Такая вибрация может приводить к истиранию высоковольтной изоляции на катушках, к образованию трещин на изоляции катушек за пределами паза статора, а также, в серьезных случаях, вызывать усталостные трещины медных проводников, что ведет к возникновению высоких токов дугового замыкания.

Вибрация может возникать в связи с двойными магнитными силами частоты переменного тока в лобовой части обмотки, а также в связи с вибрацией с частотой вращения, передаваемой на лобовую часть обмотки.

Технология Iris POWER EVTracII является надежным и экономически эффективным средством непрерывного он-лайн мониторинга вибрации лобовых частей обмотки статора, которое вносит революционные изменения в область контроля и предупреждения ослабления обмотки и возникновения вибрации в лобовых частях обмотки статора генератора или электродвигателя.

Части обмотки статора генератора или электродвигателя находящиеся вне сердечника статора называются лобовыми частями. Лобовые части обмотки находятся под высоким напряжением и нуждаются в поддержке от механических вибраций, обусловленных электрическими силами. Лобовые части обмоток машин сконструированы таким образом, что при нормальных обстоятельствах эти механические нагрузки достаточно контролируются, чтобы предотвратить повреждения. Лобовые части обмотки могут быть повреждены в результате:

- ослабления поддержки лобовых частей и связующей структуры из-за механического старения и теплового расширения;

- плохой конструкции крепления лобовых частей в условиях близких к резонансу к первичным механическим силам частоты вращения и двойной частоты сети (100/120 Гц);

- ненормальные условия работы, такие как короткое замыкание в результате напряжения и отклонения компонентов за их механические пределы.

Он-лайн измерения требуют постоянной установки акселерометров на лобовых частях обмотки статора для измерения уровней вибрации. Эти датчики могут быть установлены во время остановки машины и небольшой ее разборки или установлены в заводских условиях на новые машины.

Как правило, датчики EVA должны быть расположены в соответствии с уровнем заботы о какой-либо конкретной области лобовой части обмотки. Соединения фаз и перемычек испытывают более значительные колебания и, следовательно, являются местами для внимательного наблюдения.

Акселерометры оптические EVAII производства IRIS Power разработаны специально для обнаружения во время эксплуатации реакции на частоту вибрации в лобовой части обмотки в широком диапазоне, чтобы контролировать не только базисные частоты возбуждения (дважды превышающие частоту переменного тока и частоту вращения), но также и любые развивающиеся гармонические частоты.

Литература

1. Непрерывный мониторинг вибрации лобовых частей обмотки статора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://diiris.com/oborudovanie/diagnostika-statora/monitoring-lobovyih-chastey-obmotki/nepreryivnyiy-monitoring-vibratsii-lobovyih-chastey-obmotki-statora>. – Дата доступа : 25.04.2020.
2. Кацман, М.М. Электрические машины автоматических устройств / М.М. Кацман. – М. : Инфа-М, 2010. – 264 с.

УДК 621.3

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Максименко С.Ю., Пристромова К.С.
Научный руководитель – Андрукевич А.П.

В последние годы развитие информационных технологий позволило создать технические и психологические феномены, которые в популярной и научной литературе получили название «виртуальной реальности», «мнимой реальности» и «VR-систем». Развитие техники программирования, быстрый рост производительности полупроводниковых микросхем, разработка специальных средств передачи информации человеку, а также обратной связи (надеваемых на голову стереоскопических дисплеев, перчаток и костюма, в которые встроены датчики, передающие на компьютер информацию о движениях пользователя) – все это создало новое качество восприятия и переживаний, осознанные как виртуальные реальности.

Сегодня есть несколько типов более – менее массовых VR-систем:

1. Кабинные симуляторы (cab simulators).
2. Системы искусственной реальности (artificial, projected reality).
3. Системы «расширенной» реальности (augmented reality).
4. Системы телеприсутствия (telepresence).
5. Настольные VR-системы (desktop VR).
6. Визуально согласованный дисплей (visually coupled display).

Технологию BIM, о которой пойдет речь в дальнейшем, можно отнести к настольной VR-системе (desktop VR).

BIM (Building Information Modeling) – Информационное Моделирование Зданий (Сооружений) – процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования до проектирования, выпуска рабочей документации, строительства, эксплуатации и сноса).

Вопреки распространённому мнению BIM – это не просто программный продукт или трехмерная модель здания (сооружения), содержащая в себе всю информацию по архитектурной, конструктивной, экономической и инженерной части проекта; это, прежде всего, управление информацией об объекте строительства на всем этапе его создания: от начала разработки концепции (проекта) до эксплуатации уже построенного здания (сооружения).

Сегодня существует общепринятая концепция уровней зрелости BIM, которая была определена с помощью модели зрелости Bew–Richards (Марк Бью и Мервин Ричардс) (рисунок 1):

Уровень 0 («Неуправляемый САД»).

Пользователи применяют традиционный САД в 2D-формате. На чертежах строительные элементы изображены линиями, дугами, определяющими геометрию конструкции. Обмен данными между участниками проекта происходит на бумажном или электронном носителе.

Уровень 1.

Пользователи применяют CAD в 2D- или 3D-формате. Модели первого уровня содержат в основном базовую информацию. Для обмена информацией используются электронные файлы. На этом уровне взаимодействие между участниками организовано через среду общих данных (Common Data Environment), специфицированную британским стандартом BS 1192:2007. Однако полноценного взаимодействия между участниками, относящимися к разным дисциплинам, не происходит.

Уровень 2.

BIM-проект этого уровня представляет собой комплексную модель, над которой параллельно работают специалисты различных специальностей в различных программах. Сборка общей модели, анализ и выявление недостатков осуществляются в специальных «сборочных» программных приложениях. Данный уровень предполагает добавление следующих измерений: 4D (время) и 5D (стоимость). Для этого уровня предполагается формирование данных об объекте в формате COBie. В Великобритании уже с начала 2016 года обязательным условием получения госзаказов является использование BIM Level 2 (Уровня 2).

Уровень 3.

Строительный проект опирается на единую интегрированную модель, которая создается и используется всеми участниками процесса – заказчиком проекта, архитектором, проектировщиком, инженерными службами, подрядчиками и субподрядчиками, собственниками здания. Это полностью интегрированные данные и интегрированный процесс, использующий веб-сервисы и совместимый с новыми стандартами Industry Foundation Classes (IFC).

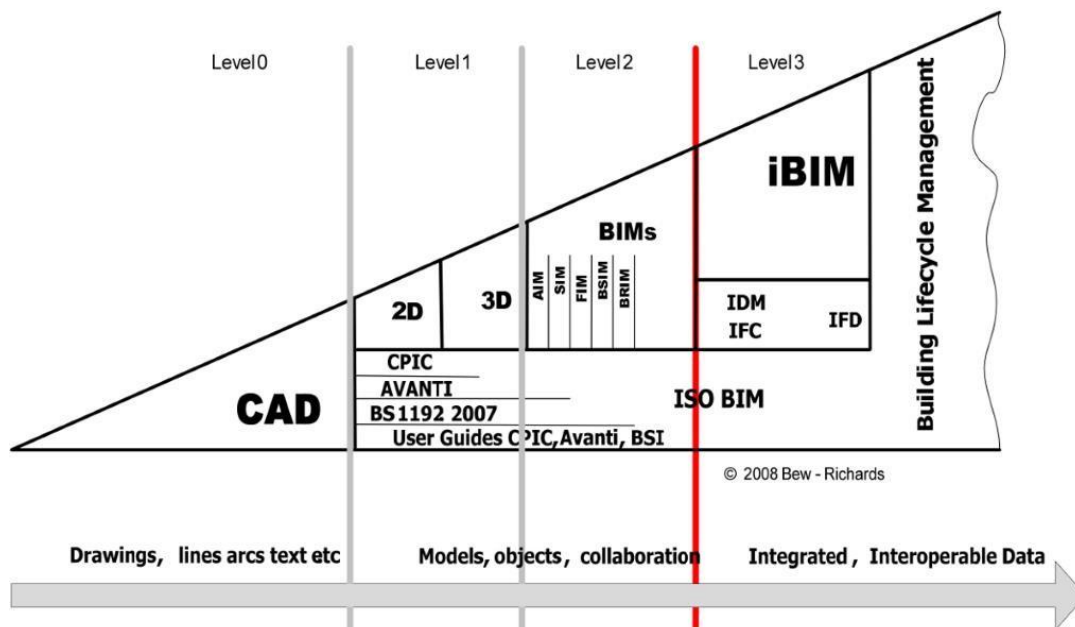


Рисунок 1 – Модель зрелости Bim–Richards

Энергетическая инфраструктура относится к числу критически важных, поэтому к надёжности и безопасности её объектов, а значит, и к подготовке персонала предъявляются самые высокие требования. Технологии виртуальной

реальности (virtual reality, VR) позволяют организовать такую подготовку в условиях, приближенных к реальным, причём совершенно безопасно для обучающихся и для оборудования.

Очень популярны иммерсивные («погружающие») решения, которые создают иллюзию, будто бы вы находитесь внутри виртуальной среды. Они, как считается, дешевле оборудования для традиционного обучения, такого как муляжи и части настоящих агрегатов, и заведомо выигрывают у него в доступности и простоте использования.

Турбопривод.

Центр разработки приложений для обслуживания атомных электростанций (Nuclear Maintenance Applications Center), входящий в состав американского НИИ электроэнергетики (Electric Power Research Institute, EPRI), выпустил интерактивное руководство с VR-интерфейсом по работе с насосным турбоприводом Terry Turbine.

Надев подключённый к компьютеру шлем виртуальной реальности и запустив программу, пользователь попадает в обучающую среду, где ему доступны четыре режима:

– произвольный – можно в любом порядке извлекать и возвращать на место узлы турбопривода;

– инструктаж – запускается анимационный ролик, показывающий порядок разборки и сборки турбопривода;

– практикум – пользователь разбирает и собирает агрегат с помощью подсказок, программа поочерёдно подсвечивает узлы;

– тест – то же, но без подсветки, доступна только текстовая инструкция.

Строительство АЭС.

Комплекс виртуальной реальности, созданный на Ростовской АЭС во время возведения её третьего и четвёртого энергоблоков, служил нескольким целям. Согласно разработчику, VE Group – это контроль (сопровождение) строительства станции, обучение персонала, презентации. Комплекс использовался прежде всего как средство визуализации при решении сложных оптимизационных задач, таких как корректировка календарного плана для сведения к минимуму задержек, вызванных несвоевременными поставками оборудования от подрядчиков и субподрядчиков.

В комплекс также входят система видеоконференцсвязи и акустика для проведения конференций и совещаний. Поскольку лето в Ростовской области жаркое, специалисты VE Group установили в зале с экраном усиленную систему кондиционирования.

Интегрированное решение.

Как бы ни были полезны VR-тренинги, обучение к ним не сводится. Интерактивный 3D-тренажёр, разработанный CROC VR (подразделением компании «КРОК Инкорпорейтед») для «Мособлгаза», интегрирован в платформу для дистанционного обучения, так что все 8000 сотрудников предприятия независимо от того, в каком из территориальных подразделений они находятся, могут планировать графики своего обучения, выбирать нужные разделы, слушать лекции, читать инструкции и отрабатывать в виртуальной

реальности приёмы работы с оборудованием. Дополнительно платформа дистанционного обучения позволяет руководству «Мособлгаза» доводить до работников актуальную информацию и получать от них обратную связь.

Литература

1. Лустина, О.В. Использование BIM-технологий в современном строительстве / О.В. Лустина, Н.А. Бикбаева, А.М. Купчиков. – Текст: непосредственный, электронный // Молодой ученый. – 2016. – № 15 (119). – С. 187–190.
2. Развитие виртуальной реальности / Д.В. Бунтаков [и др.]. – Текст: непосредственный, электронный // Молодой ученый. – 2018. – № 25 (211). – С. 94–96.

УДК 621.3

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ

Жиркова К.Ю., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

Процесс разработки цифровых фильтров можно разделить на следующие этапы:

- определение требований к фильтру (задание спецификации);
- выбор типа и определение коэффициентов фильтра;
- выбор структурной формы реализации;
- анализ влияния ошибок, вызванных конечной разрядностью представления данных;
- программная, аппаратная, или программно-аппаратная реализация фильтра.

При этом первая задача, которая встает перед разработчиком – выбор типа фильтра: с конечной импульсной характеристикой (КИХ) или с бесконечной импульсной характеристикой.

Наиболее важными особенностями КИХ-фильтров, которые следует учитывать при выборе типа разрабатываемого фильтра, являются: для КИХ-фильтров возможно получить строго линейную фазовую характеристику; нерекурсивные фильтры всегда имеют КИХ и всегда устойчивы; для КИХ-фильтров разработаны методы синтеза, которые применимы для аппроксимации произвольных АЧХ.

При выборе типа фильтра на втором этапе как правило руководствуются следующим правилом, которое в ряде случаев может иметь исключения: использовать КИХ-фильтры следует, когда важны требования к линейности фазо-частотной характеристики (ФЧХ), или же требуемая амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) заметно отличается от стандартных идеальных АЧХ частотно-избирательных фильтров, или для реализации фильтра имеются избыточные вычислительные мощности. Отметим, что современные процессоры цифровой обработки сигналов часто имеют встроенные функции, реализующие нерекурсивные фильтры. Для многих приложений это фактически предопределяет выбор именно КИХ-фильтра для дальнейшего синтеза структуры.

Для нахождения коэффициентов КИХ-фильтров существуют несколько методов, из которых рассмотрим оптимизационный метод. С точки зрения оптимальности получаемых структур КИХ-фильтров оптимизационные методы синтеза являются довольно мощными, но при этом довольно сложными как в теоретическом, так и в вычислительном плане.

Говоря об оптимальности фильтров, прежде всего, необходимо уточнить, по какому критерию и при каких ограничениях проводится оптимизация. Например, при синтезе КИХ-фильтров задача может быть сформулирована следующим образом: при заданной длине импульсной характеристики $N + 1$ (заданном порядке фильтра N) найти такие коэффициенты симметричного (антисимметричного) фильтра с линейной фазой, чтобы ошибка аппроксимации

заданной АЧХ $|K_p(\omega)|$ была минимальной. Если ошибка аппроксимации ε понимается в смысле среднеквадратичного отклонения на периоде частотной характеристики (ЧХ), то решение такой задачи известно из теории рядов Фурье: в качестве отсчетов импульсной характеристики необходимо взять первые коэффициенты Фурье-разложения ЧХ $K_p(\omega)$. Однако указанный критерий минимизации ошибки приводит к значительным пульсациям реальных ЧХ $K(\omega)$ вблизи точек разрыва аппроксимируемых ЧХ $K_p(\omega)$. Поэтому чаще при разработке фильтров минимизируют ошибку ε , которая понимается как максимальное отклонение реальной АЧХ от требуемой (в заданной частотной области Ω) – такая аппроксимация называется равномерной.

Рассмотрим КИХ-фильтры с линейной ФЧХ первого типа. Удобно представить ЧХ такого фильтра в виде $K(\omega) = A(\omega)e^{-i\omega M}$, где $A(\omega)$ вещественный тригонометрический полином вида

$$A(\omega) = \sum_{k=0}^M a(k) \cos(\omega k). \quad (1)$$

Принимаем, что спецификация синтезируемого фильтра определяется заданием границ полос пропускания Ω_p , подавления Ω_s , и неравномерностей АЧХ δ_p и δ_s в этих полосах соответственно. Для заданного порядка M тригонометрического многочлена $A(\omega)$ будем искать такой вектор коэффициентов $a = [a(0), a(1), \dots, a(M)]$, который обеспечивает наилучшее равномерное приближение требуемой ЧХ $K_p(\omega)$ (вещественной функции) с минимальной ошибкой аппроксимации

$$\varepsilon = \min_{A \in R^{M+1}} \max_{\omega \in (\Omega_p \cup \Omega_s)} p(\omega) |A(\omega) - K_p(\omega)|. \quad (2)$$

Функция $p(\omega) > 0$ в выражении (2) позволяет по-разному масштабировать (взвешивать) ошибку аппроксимации для различных частот (если $\delta_p = \delta_s$, то полагаем $p(\omega) = 0$).

Многочлен вида (1), который обеспечивает минимальную ошибку (2), будем называть оптимальным (наилучшим) многочленом равномерного приближения порядка M . Для его нахождения выполним замену переменной $x = \cos \omega$. Тогда основная полоса нормированных циклических частот $\arccos x = \omega \in [0; \pi]$ взаимно однозначно отобразится в отрезке $x \in [-1; 1]$, а (2) примет вид:

$$\varepsilon = \min_{A \in R^{M+1}} \max_{\omega \in (\Omega_p \cup \Omega_s)} p(\arccos x) |A(\arccos x) - K_p(\arccos x)|, \quad (3)$$

где $X_s \subset [-1; 1]$ и $X_p \subset [-1; 1]$ – множества (отрезки), в которые при замене переменной отобразились полосы подавления и пропускания $\Omega_s \subset [0; \pi]$ и $\Omega_p \subset [0; \pi]$ соответственно.

Поиск наилучшего равномерного приближения заданной функции алгебраическим многочленом представляет собой непростую, но хорошо изученную классическую задачу. В большинстве случаев аналитическое решение найти невозможно, и оно ищется численными методами, которые основаны на следующей теореме Чебышева об альтернансе: пусть замкнутое множество $X \in R$ есть объединение конечного числа непересекающихся

отрезков на числовой оси, а $P_M(x) = \sum_{k=0}^M a_k x^k$ – многочлен степени M . Пусть,

кроме того, $D(x)$ – непрерывная в области $x \in X$ функция, а $w(x)$ является положительной и непрерывной функцией при $x \in X$. Обозначим: $E(x) = w(x)(P_M(x) - D(x))$, $\delta = \min_{\{a_k\}_{k=0}^M} \max_{x \in X} |E(x)|$.

Тогда для того, чтобы полином $P_M(x)$ был многочленом наилучшего равномерного приближения на множестве X для функции $D(x)$ с весом $w(x)$ (и притом единственным), необходимо и достаточно, чтобы абсолютный максимум функции $E(x)$ достигался в $K \geq M + 2$, принадлежащих множеству X , точках альтернанса: $x_1 < x_2 < \dots < x_K$, в которых $\forall m = 1, K, K: |E(x_m)| = \delta$, $E(x_{m+1}) = -E(x_m)$.

Выполнив обратную замену переменных $\omega = \arccos x$, теорему Чебышева можно переформулировать, используя тригонометрический полином (1) вместо

алгебраического многочлена $P_M(x) = \sum_{k=0}^M a_k x^k$, и вернуться к задаче (2)

равномерного приближения требуемой АЧХ $K_p(\omega)$ тригонометрическим полиномом (1) на отрезках полос пропускания Ω_p и подавления Ω_s , в области нормированных частот $\omega \in [0; \pi]$. Так как арккосинус является монотонно убывающей функцией, точки альтернанса $x_1 < x_2 < \dots < x_K$ перейдут в $\omega_K < \omega_{K-1} < \dots < \omega_1$, где $\omega_m = \arccos x_m$, $m = K, K-1, \dots, 1$. Основной результат теоремы останется прежним: полином (1) будет многочленом наилучшего равномерного приближения тогда и только тогда, когда максимальное отклонение от аппроксимируемой функции будет достигаться не менее чем в $M + 2$ частотах альтернанса, причем ошибка $E(x_{m+1}) = -E(x_m)$. На этом основополагающем свойстве многочлена наилучшего равномерного приближения основан численный метод его построения, известный как метод Ремеза. Приведем основные шаги реализующего его алгоритма численного решения задачи (2).

Шаг 1: задаем некоторую начальную сетку частот $\{\omega_m\}_{m=1}^{M+2} \in \Omega = \Omega_p \cup \Omega_s$ (например, расположив точки сетки равномерно в полосах пропускания и подавления).

Шаг 2: ищем такие коэффициенты полинома (1), чтобы для частот получить равнопульсирующее отклонение полинома от аппроксимируемой ЧХ

$p(\omega_m)(A(\omega_m) - K_p(\omega_m)) = (-1)^{m+1} \delta$. Для этого составляем и решаем систему из $M + 2$ линейных уравнений относительно переменных – $(M + 1)$ коэффициентов $\{a(k)\}_{k=0}^M$ полинома (1) и величины δ :

$$\sum_{k=0}^M a(k) \cos(\omega_m k) + \frac{(-1)^m}{p(\omega_m)} \delta = K_p(\omega_m), \quad m = 1, 2, \dots, M + 2.$$

Шаг 3: с имеющимися коэффициентами $\{a(k)\}_{k=0}^M$ на густой сетке частот $\{\omega_l\}_{l=1}^L \in \Omega$, $L \gg M$, вычисляем отклонения аппроксимирующего полинома (1) от заданной ЧХ $K_p(\omega)$: $\Delta_l = p(\omega_l)(A(\omega_l) - K_p(\omega_l))$, $l = 1, 2, \dots, L$.

Шаг 4: если $\varepsilon = \max_{l=1, \dots, L} |\Delta_l| \approx |\delta|$, то считаем, что искомые коэффициенты полинома (1) и ошибка аппроксимации (2) $\varepsilon = |\delta|$ найдены, алгоритм завершил работу. Иначе переходим на шаг 5.

Шаг 5: задаем новую сетку $\{\omega_m\}_{m=1}^{M+2} \in \Omega$, в которой обязательно должны быть те частоты, для которых при анализе на предыдущем шаге был достигнут максимум отклонения $\varepsilon = \max_{l=1, \dots, L} |\Delta_l| > |\delta|$, а также другие частоты $\{\omega_l\}$, для которых были получены самые большие отклонения $|\Delta_l| > |\delta|$. При этом знаки отклонений Δ_m , в выбранных частотах сетки $\{\omega_m\}_{m=1}^{M+2}$ должны чередоваться. Затем выполняется переход на шаг 2.

Чем больше порядок полинома M используется в методе Ремеза, тем выше будет точность аппроксимации требуемой ЧХ. Полином минимального порядка, обеспечивающий выполнение спецификаций фильтра, является оптимальным.

Описанный оптимизационный метод синтеза КИХ-фильтров по заданной АЧХ имеет различные модификации и алгоритмические реализации, разработанные как самим Ремезом, так и другими исследователями. В частности, в зарубежной литературе часто упоминается алгоритм Паркса-Мак-Клиллана, который также является одним из вариантов реализации идеи метода Ремеза.

Применение оптимизационных методов синтеза КИХ-фильтров на сегодняшний день получило очень широкое распространение в связи с развитием и ростом производительности вычислительной техники, что практически свело на нет основной недостаток этих методов – вычислительную сложность. Результаты применения оптимизационных методов позволяют разрабатывать такие КИХ-фильтры, сложность реализации которых (определяемая длиной импульсной характеристики или количеством коэффициентов-умножителей в структуре фильтра) оказывается значительно меньшей по сравнению с фильтрами, разработанными другими методами.

Важнейшим достоинством оптимизационных методов является то, что они весьма удобны для синтеза не только частотно-избирательных фильтров, но и фильтров с произвольной кусочно-непрерывной ЧХ $K_p(\omega)$.

Литература

1. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер ; пер. С.А. Кулешова ; под ред. А.С. Ненашева. – М. : Техносфера, 2006. – 856 с.
2. Умняшкин, С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов : учеб. пособие / С.В. Умняшкин. – М. : Техносфера, 2016. – 528 с.

УДК 621.311

**КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ПРИ ПОМОЩИ ДАТЧИКОВ CL110
ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC**

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

Тяжелые условия эксплуатации из-за наличия загрязнений, конденсации и значительных температурных сдвигов являются одной из первостепенных причин отказа, вызванным ускоренным старением.

При использовании распределительных устройств (РУ) среднего напряжения в тяжелых условиях загрязнения на поверхности неэкранированных изоляторов могут возникать поверхностные частичные разряды вплоть до полного поверхностного пробоя.

В низковольтных РУ неблагоприятные условия эксплуатации могут привести к образованию коррозии на металлических деталях и электрических контактах.

Непрерывный контроль за условиями эксплуатации является наиболее подходящим способом обнаружения неисправностей установки, оптимизируя техническое обслуживание с помощью прогнозной информации.

Easergy CL110 – беспроводной интеллектуальный датчик, устанавливаемый внутри распределительного устройства для замера уровня влажности и температуры в режиме 24/7, что позволяет:

- предотвратить ускоренное старение изоляции из-за влажности и загрязнения (предупреждение образования коррозии, что составляет примерно 20 % отказов);

- помогает обслуживающему персоналу непрерывно контролировать влажность и загрязнение окружающей среду, которые имеют негативное влияние на распределительное устройство;

- автоматически вычисляет точку росы и совмещая полученные сведения с заявленными условиями по эксплуатации, система выдаёт рекомендации по периодичности технического обслуживания и очистки для сохранения распределительного устройства в его номинальном состоянии.

Внешний вид датчика CL110 представлен на рисунке 1, а характеристики в таблице 1.



Рисунок 1 – Внешний вид датчика CL110

Таблица 1 – Характеристики датчика CL110

Источник питания	3 В (аккумулятор)
Точность	± 1 °С
Рабочий диапазон	От -25 до +115 °С
Беспроводной интерфейс	ZigBee Green Power 2,4 ГГц
Габаритные размеры – масса	40×40×21 мм – 34 г

Датчик параметров окружающей среды CL110 также работает в паре с концентратором в удалении до 7 м. Использование протоколов Zigbee Green Power обеспечивает датчику надежную и устойчивую связь.

Источником питания для данного датчика является аккумулятор. Возникает мысль, что для данного датчика потребуются повышенное внимание в обслуживании, в частности замена аккумулятора. Однако ожидаемый срок службы встроенного аккумулятора составляет более 15 лет.

Недостатком данного датчика является высокая стоимость, однако, например, в ячейке КРУ необходим один датчик, по сравнению с термодатчиком ТН110, следовательно, потребуется небольшое количество средств относительно установки датчиков ТН110.

Таким образом, данные датчики рекомендуется применять на производствах с тяжелыми условиями эксплуатации (особенно где повышенная влажность и высокие температуры). Постоянный мониторинг состояния окружающей среды распределительных устройств позволит в некоторых случаях предупредить непредвиденные отказы электрооборудования, а следовательно, обеспечивать надежное электроснабжение.

Литература

1. Решения Schneider Electric по предиктивному управлению. – М.: Schneider Electric, 2018. – 40 с.
2. Каталог MCset Распределительные устройства с воздушной изоляцией до 10 кВ. – М.: Schneider Electric, 2020. – 96 с.
3. Каталог Easerge T300. – М.: Schneider Electric, 2020. – 128 с.

УДК 621.311

КОНЦЕНТРАТОР СИГНАЛОВ HARMONY HUB ZBRN

Волов Р.А., Русецкий К.И., Журкевич В.В.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

Датчики TH110 и CL110 работают автономно, либо взаимодействуя с электромагнитным полем проводника, либо при помощи аккумулятора соответственно. Данная особенность снижает количество проводов и стоимость установки. Вся информация с данных датчиков собирается в концентраторах, они являются промежуточным оборудованием, которое передает данные далее для проведения их оценки.

Основные характеристики концентратора:

- Zigbee беспроводной канал;
- 24–240 В питание;
- данные с 60 сенсоров;
- беспроводное соединение (Modbus или Ethernet);
- UL и IEC стандарты.

На рисунке 1 изображен концентратор с беспроводной связью с датчиками.

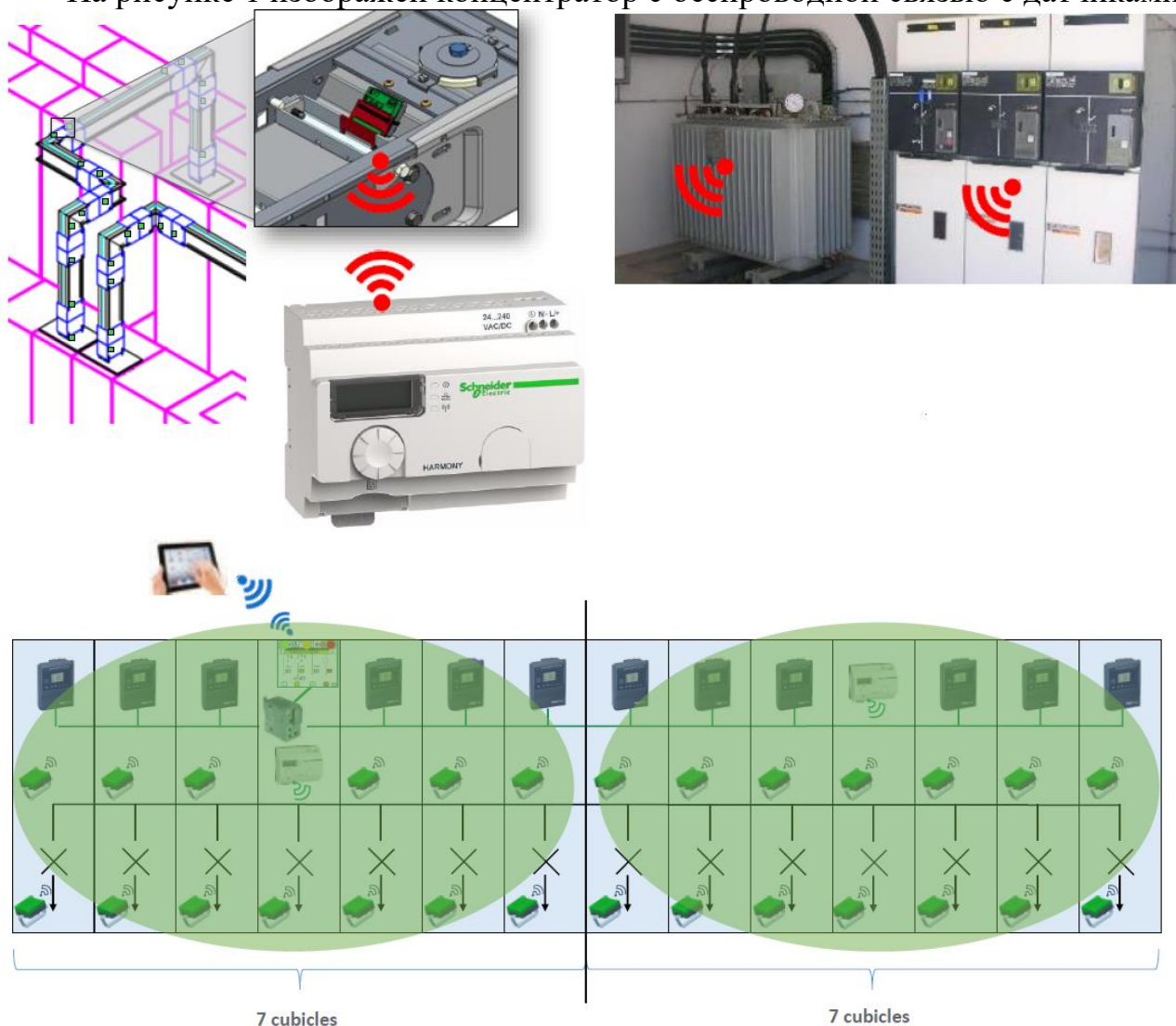


Рисунок 1 – Концентратор с беспроводной связью с датчиками

Данное устройство является вторым уровнем описанной выше структуры и может быть подключено к различным системам мониторинга. На рисунке 2 представлена возможные подключения к различным системам мониторинга EcoStruxure от компании Schneider Electric.

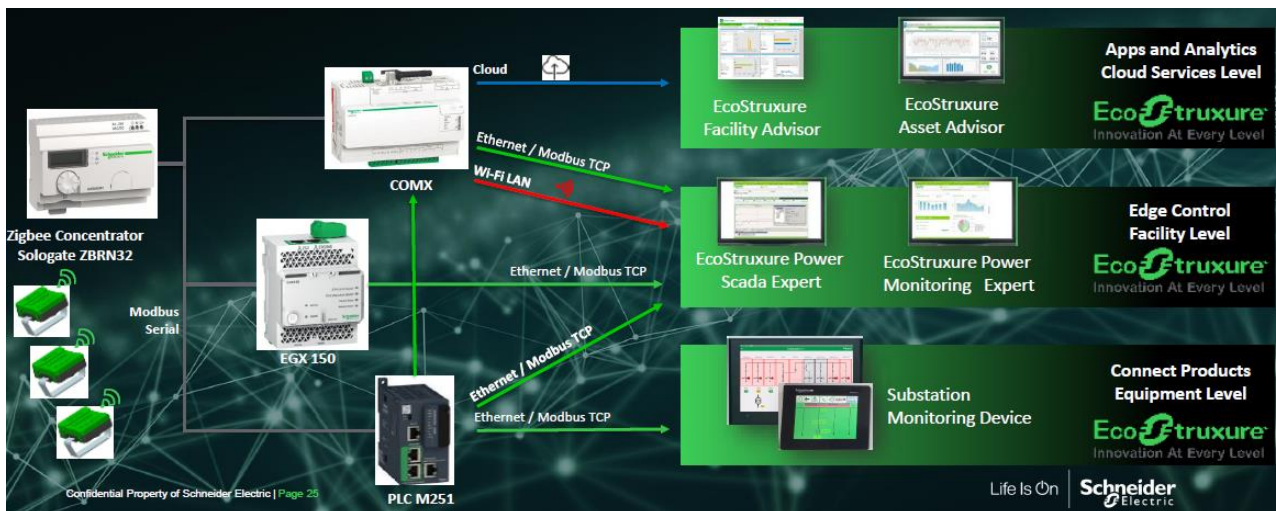


Рисунок 2 – Подключение концентратора к различным системам мониторинга

Концентратор может использоваться в различных архитектурах (рисунок 3), от простейшей до более сложной, в зависимости от необходимых обслуживающему персоналу функций. Это просто сбор данных с датчиков и отображение полученных данных. Или сбор данных с последующим обработыванием и возможностью воздействовать на выключатель при острой необходимости и т. д.

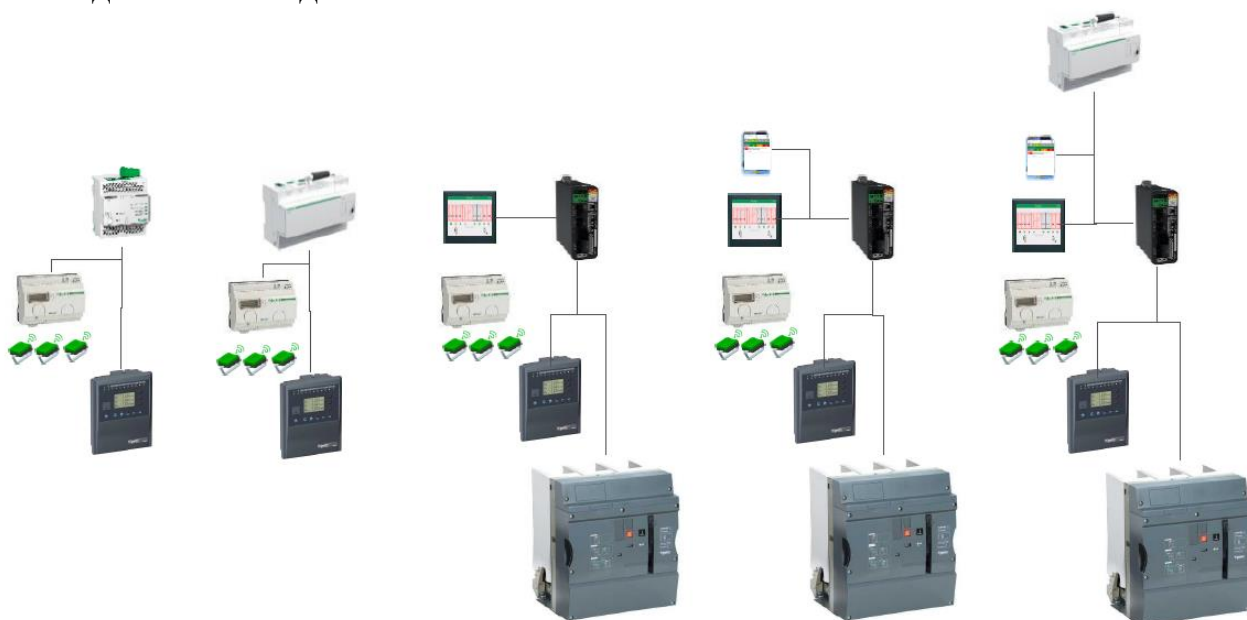


Рисунок 3 – Доступные архитектуры

Таким образом, применения концентратора с беспроводными датчиками позволяет:

- упростить установку (нет необходимости прокладки кабеля и т. д.);
- увеличить безопасность обслуживающего персонала, за счет того, что нет необходимости физического осмотра внутри оборудования;

– вести 24/7 мониторинг электрооборудования и максимально предугадывать его отказы, что позволяет повысить надежность электроснабжения.

Литература

1. Решения Schneider Electric по предиктивному управлению. – М. : Schneider Electric, 2018. – 40 с.
2. Каталог MCset Распределительные устройства с воздушной изоляцией до 10 кВ. – М. : Schneider Electric, 2020. – 96 с.
3. Каталог Easerge T300. – М. : Schneider Electric, 2020. – 128 с.
4. Harmony Hub ZBRN1/ZBRN2 User manual. – М. : Schneider Electric, 2020. – 199 с.

УДК 621.311

**ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6–10 КВ**

Самцова Н.Ю.

Научный руководитель – Пузиновский В.Д.

Оценка эффекта от капитальных вложений показала, что по сравнению с вариантом замены всех линий новыми в 12 раз выгоднее реконструировать существующие фидера, только с применением реклоузеров.

Полученные результаты не говорят о том, что не нужно проводить реконструкцию сети, замену оборудования. Однако они наглядно иллюстрируют, что реализация отдельных подсистем Smart Grid в сетях, в частности их децентрализованная автоматизация с применением реклоузеров, позволяет добиваться радикального повышения надежности электроснабжения без глобальной реконструкции. Значительная часть существующих распределительных сетей проходит в труднодоступных местах, плотность нагрузки имеет резко неоднородный характер, большая часть повреждений происходит на отпайках – так зачем реконструировать сеть без потребителей, когда можно решить те же самые задачи более эффективным способом.

Очень часто приходится слышать о том, что лучше провести замену релейной защиты на подстанции, чем автоматизировать сети. Однако как это повлияет на ключевые показатели деятельности сетевой компании? В каждом конкретном случае необходимо проводить многофакторную оценку различных вариантов повышения показателей эффективности. Сегодня новые варианты решений старых проблем уже доступны и успешно функционируют в самых разных системах.

Традиционно сети 6–10 кВ отличаются слабой оснащенностью коммутационными аппаратами. Если в основных сетях высокого и сверхвысокого напряжения практически любой узел нагрузки так оснащен коммутационными аппаратами, что, оперируя ими, можно отделять этот узел от основного питания и переключать на резервное питание, то на линии 10 кВ чаще всего установлено лишь несколько разъединителей. Поэтому при повреждении любого участка линии будут длительно отключены все присоединенные к линии потребители. Важной особенностью является также слабая автоматизация послеаварийных переключений. Они, как правило, выполняются вручную, в основном, силами оперативно-выездной бригады, которая преодолевает значительные расстояния для осуществления операций территориально распределенными коммутационными аппаратами. Поэтому длительность аварийных отключений достаточно велика.

Решить эту проблему возможно различными путями, но они весьма дорогостоящие и трудоемкие, поэтому предлагается решить эту проблему при помощи реклоузера. Реклоузер – это надежное и довольно простое в эксплуатации устройство, позволяющее отключать токи короткого замыкания за минимальное время, при этом за такое же время восстанавливать электроснабжение на не поврежденных участках.

Применение децентрализованной автоматизации заключается в оснащении распределительной сети пунктами автоматического секционирования, которые позволяют отключать только аварийных участков сети на базе локальной информации о повреждении, обрабатываемой непосредственно в самом пункте без использования каких-либо каналов связи. За счет того, что из строя выводится только конкретный участок сети, уменьшается число потребителей, на которых одновременно может отразиться повреждение. Благодаря повышению быстродействия релейной защиты и автоматики, сокращается длительность перерывов электроснабжения.

Реализация принципа децентрализованной автоматизации сети возможна лишь при оснащении воздушной линии 10 кВ пунктами секционирования в состав которых входит весь выше перечисленные комплекс устройств.

Все вышеперечисленные устройства должны интегрироваться в автоматизированную систему диспетчерского управления электрических сетей, обладать высокой надежностью и длительным сроком службы, иметь небольшие размеры и высокое быстродействие, а также практически не требовать эксплуатационного обслуживания в течение срока службы.

В результате мы получаем автономный комплекс устройств не требующий обслуживания оперативного персонала, отвечающий всем современным требованиям релейной защиты, позволяющий построить на их базе децентрализованную автоматизацию линий, прост в эксплуатации, малогабаритный, значительно дешевле аналогичных комплексов и централизованной автоматизации линий в целом.

Эффективность функционирования предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых в значительной мере определяется надежностью и экономичностью работы его системы электроснабжения. Основными потребителями на данных предприятиях являются стационарные и передвижные установки большой единичной мощности. Как правило, эти установки относятся к потребителям первой категории по надежности и бесперебойности электроснабжения или к электроустановкам, нарушение электроснабжения которых приводит к значительному недоотпуску продукции.

Большая протяженность низко- и высоковольтных сетей, территориальная рассредоточенность потребителей электроэнергии, неравномерность графиков электрических нагрузок потребителей, (что обусловлено самой технологией и организацией работ), являются основными преградами на пути повышения надежности и экономичности электроснабжения. Поэтому добиться повышения надежности и экономичности можно в случае, если одновременно с увеличением потребляемой мощности и развитием предприятия будут приняты меры по реконструкции электросетей.

Литература

1. Бурьянов, В.Я. Обеспечение рынка электроэнергии / В.Я. Бурьянов. – М. : Промышленная энергетика, 1997. – 147 с.
2. Марфенин, Н.Н. Организация проектирования автоматизированных систем контроля и учета энергии / Н.Н. Марфенин. – М. : Промышленная энергетика, 1995. – 125 с.

УДК 621.31

ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Русакович А.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

Вакуумный выключатель (ВВ) – высоковольтный выключатель, в котором вакуум служит средой для гашения электрической дуги. ВВ предназначен для коммутаций (операций включения-отключения) электрического тока – номинального и токов короткого замыкания (КЗ) в электроустановках.

Первые разработки вакуумных выключателей были начаты в 30-е годы XX века, действующие модели могли отключать небольшие токи при напряжениях до 40 кВ. Достаточно мощные ВВ в те годы так и не были созданы из-за несовершенства технологии изготовления вакуумной аппаратуры и, прежде всего, из-за возникших в то время технических трудностей по поддержанию глубокого вакуума в герметизированной камере.

Основные достоинства вакуумных выключателей, определяющие их широкое применение:

1. Высокая износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Число отключений номинальных токов ВВ без замены вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) составляет 10–50 тыс. число отключений номинального тока отключения – 20–200 что в 10–20 раз превышает соответствующие параметры маломасляных выключателей

2. Резкое снижение эксплуатационных затрат по сравнению с маломасляными выключателями. Обслуживание ВВ сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам 1 раз в 5 лет или через 5–10 тыс. циклов «включение-отключение».

3. Полная взрыво- и пожаробезопасность и возможность работы в агрессивных средах.

4. Широкий диапазон температур окружающей среды, в котором возможна работа ВДК.

5. Повышенная устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам вследствие малой массы и компактной конструкции аппарата.

6. Произвольное рабочее положение и малые габариты, что позволяет создавать различные компоновки распределительных устройств, в том числе и шкафы с несколькими выключателями при двух-трехъярусном их расположении.

7. Бесшумность, чистота, удобство обслуживания, обусловленные малым выделением энергии в дуге и отсутствием выброса масла, газов при отключении токов КЗ.

8. Отсутствие загрязнения окружающей среды.

9. Высокая надежность и безопасность эксплуатации, сокращение времени на монтаж.

К недостаткам ВВ следует отнести повышенный уровень коммутационных перенапряжений, что в ряде случаев вызывает необходимость принятия специальных мер по защите оборудования.

Вакуумные выключатели находят все более широкое применение, часто заменяя и вытесняя менее надежные и более металло- и материалоемкие масляные и электромагнитные выключатели. Выпуск вакуумных выключателей среднего напряжения от общего выпуска в настоящее время достиг в Японии 50 %, в Великобритании 30 % и в США 20 %.

Литература

1. Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию (в двух томах / А.А. Федоров. – М. : Энергоатомиздат, 1987.
2. Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю.Г Барыбин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. ТМ Энергия [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D1%8B%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C.
4. Соколов, Б.А. «Монтаж электрических установок / Б.А. Соколов, Н.Б. Соколова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.

УДК 62.91

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ МОЩНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шкуратов В.А.

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

В настоящее время для соединения генераторов с трансформаторами связи большое распространение получили пофазноэкранированные токопроводы с электрически непрерывными кожухами. В начале и в конце трассы кожухи этих токопроводов соединяются перемычками и заземляются. При таком выполнении токопроводов в кожухах индуктируются продольные токи, разные по величине и противоположные по направлению токам в шинах. Вследствие этого, внешнее магнитное поле вокруг токопроводов, а следовательно, и динамические усилия между фазами незначительные.

Однако, из-за того, что по кожухам протекают полные продольные токи, в них возникают большие потери электроэнергии и наблюдается значительный нагрев кожухов. Снизить температуру нагрева токопроводов можно двумя способами:

Выполнить принудительное охлаждение (вентиляцию) токопроводов.

Предусмотреть ограничение продольного тока в кожухах, что приводит к уменьшению электрических потерь и к снижению температуры нагрева кожухов и шин.

В данной работе была найдена температура кожуха и токопровода исходя из геометрических параметров токопровода и номинального тока в нем.

Данная работа соведена разработке программы расчета температурного режима пофазно-экранированных токопроводов мощных генераторов, на основании методики, разработанной проектным институтом «Теплоэлектропроект» г. Москва, автором которой является главный инженер Н. Меркин. Программа составлена с использованием языка программирования Fortran.

Исходными данными для работы программы являются: номинальный ток токопровода, наружный диаметр кожуха, толщина кожуха, наружный диаметр шины, толщина шины и расстояние между центрами соседних фаз.

Далее, используя алгоритм, метода программы позволяет получить приближенные значения температур кожуха и шин. Полученные значения сравниваются с задаваемыми. Если в результате получаются результаты близкие к заданным, то расчет на этом заканчивается. Если погрешность расчета превышает 5 %, то перезадаются начальными температурами кожуха и шины и расчет повторяется.

Данная программа позволяет производить расчет температурного режима для всей линейки генераторных пофазно-экранированных токопроводов с электрически непрерывными экранами.

Литература

1. Токопроводы генераторов [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа : <http://rbc-energo.ru/blog/tokoprovody/tokoprovodyi-generatornogo-napryazheniya-chast-1/Токопроводы генераторов/>. – Дата доступа : 21.03.2020.
2. Меркин, Н.В. Токопроводы генераторного напряжения с ограничением продольного тока в кожухах для генераторов 800 МВт / И.В. Меркин // Электрические станции. – 1975. – 26 с.

УДК 621.31

3D-ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Мешкова А.Н., Арутюнов М.А.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

В современных реалиях невозможно представить мир без применения трехмерных моделей. 3D-моделирование используется во многих областях человеческой жизни: в индустрии развлечений (фильмы, анимация и 90 % компьютерных игр), медицине, промышленности, дизайне, военной тактике и т. д. В данной работе разберемся с тем, что же представляет из себя 3D-моделирование, расскажем о возможности его использования для анализа электрических цепей, а также продемонстрируем созданные 3D-модели реальных электротехнических изделий.

3D моделирование – это процесс формирование виртуальных моделей, позволяющий с максимальной точностью продемонстрировать размер, форму, внешний вид объекта и другие его характеристики [1]. По своей сути это создание трехмерных изображений и графики при помощи компьютерных программ. Современная компьютерная графика позволяет воплощать очень реалистичные модели, кроме того создание 3D-объектов занимает меньше времени, чем их реализация. 3D технологии позволяют представить модель со всех ракурсов и устранить недостатки выявленные в процессе её создания. Визуализация объектов с помощью компьютерных программ позволяет лучше представить будущий проект в реальности. Такие модели производят глубокое впечатление, и дают возможность добиться потрясающих результатов.

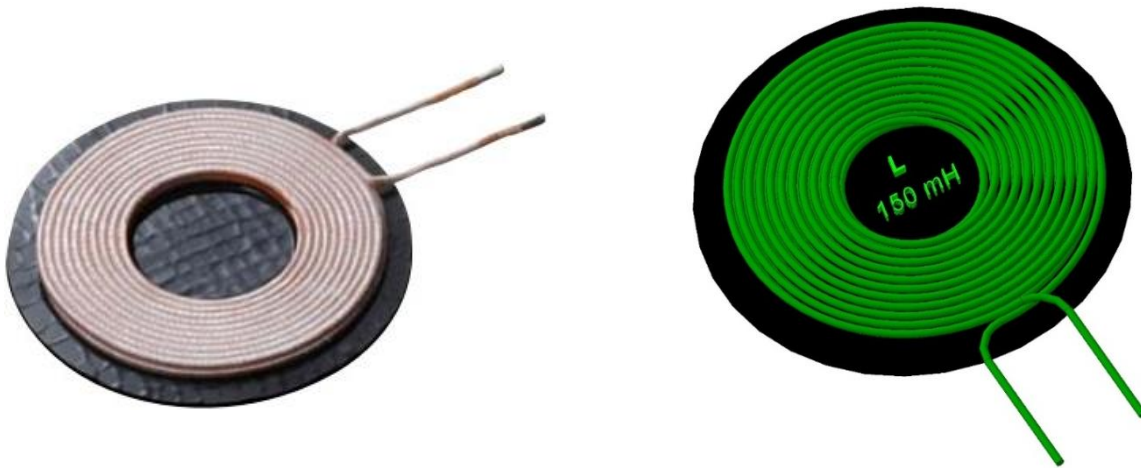
Так, сталкиваясь со схемами электрических цепей, достаточно сложно оценить их реальные размеры и представить пространственное расположение элементов. С этой целью в схемы электрических цепей и вводятся 3D-модели реальных электротехнических изделий и приборов (рисунок 1–11): катушки индуктивности, резистора, конденсатора, рубильника, контактов, источника питания, ваттметра и т. д.

В ходе изучения дисциплины «Теоретические основы электротехники» при выполнении расчетно-графических и самостоятельных работ нами была накоплена база 3D-моделей ряда реальных электротехнических изделий с геометрическими размерами, принятыми из технической документации на оцифровываемые образцы [2–7]. В качестве примера далее приведем некоторые из созданных 3D-моделей.

Катушка индуктивности (рисунок 1) в электрических цепях предназначена для накопления энергии, ограничения переменного тока, создания магнитных полей, подавления помех, сглаживания биений.

Конденсатор (рисунок 2) предназначен для накопления заряда и энергии электрического поля.

Резистор (рисунок 3) предназначен для линейного преобразования силы тока в напряжение и напряжения в силу тока, ограничения тока, поглощения электрической энергии.



а

б

Рисунок 1 – Катушка индуктивности: а – реальное изделие; б – 3D-модель



а

б

Рисунок 2 – Конденсатор: а – реальное изделие; б – 3D-модель



а

б

Рисунок 3 – Резистор: а – реальное изделие; б – 3D-модель

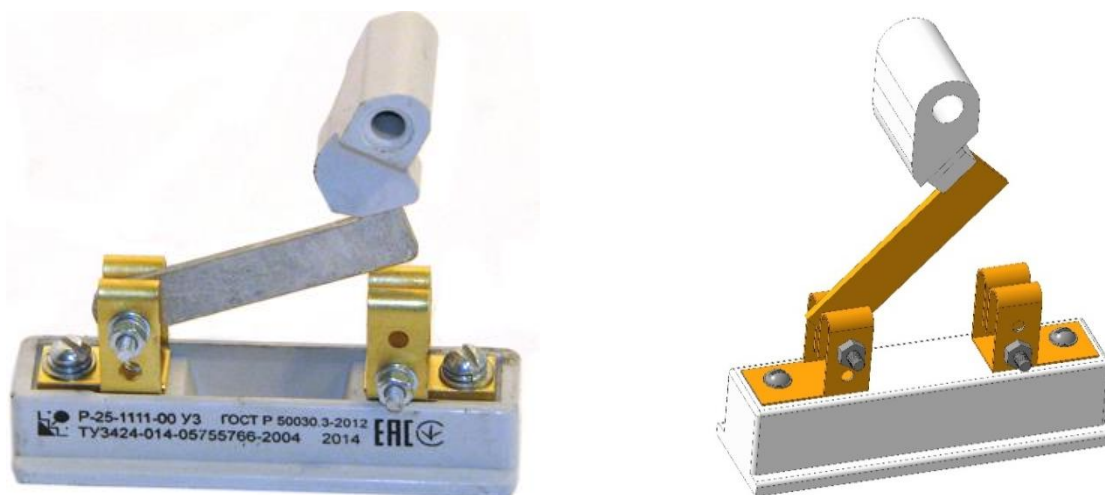
Рубильник (рисунок 4) предназначен для включения/отключения нагрузки с большой силой тока.

Для приближения к реальным условиям с целью присоединения проводов к электротехническому оборудованию создадим 3D-модель наконечников.

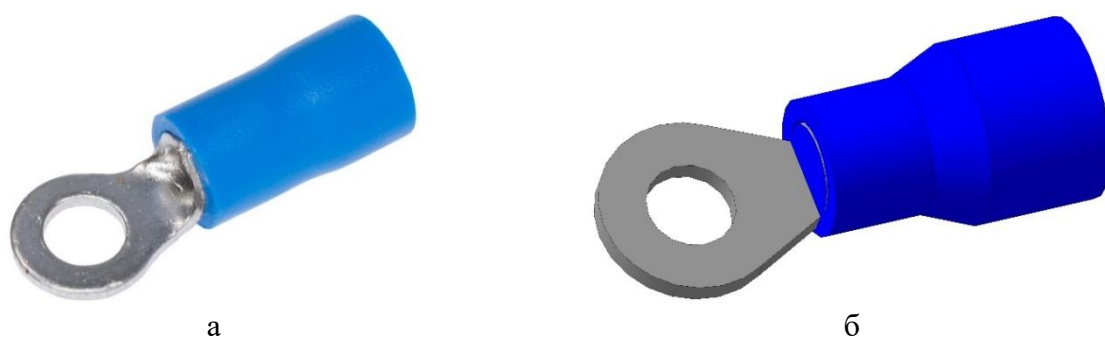
Наконечники (рисунок 5) предназначены для создания качественного контакта во время подключения провода или кабеля к клеммникам.

Учитывая специфику нашей будущей профессии (обслуживание релейной защиты), для коммутаций в электрической цепи создадим 3D-модель контактов.

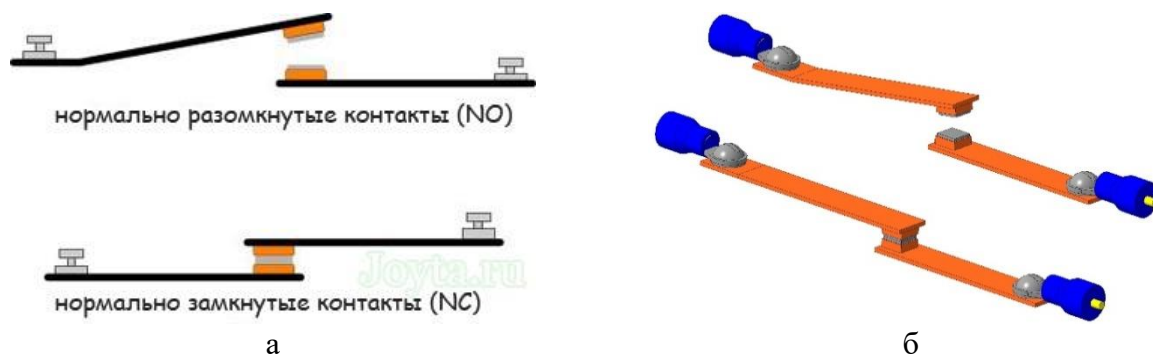
Контакты (рисунок 6) предназначены для включения, отключения и переключения электрических цепей.



а б
Рисунок 4 – Рубильник: а – реальное изделие; б – 3D-модель



а б
Рисунок 5 – Наконечник: а – реальное изделие; б – 3D-модель



а б
Рисунок 6 – Контакты: а – реальное изделие; б – 3D-модель



а б
Рисунок 7 – Батарейка 3 В и батарейный отсек: а – реальное изделие; б – 3D-модели

Источник постоянного тока – батарейка (рисунок 7) предназначен для генерации постоянного тока.

Ваттметр (рисунок 8) предназначен для определения мощности электрического тока или электромагнитного сигнала.

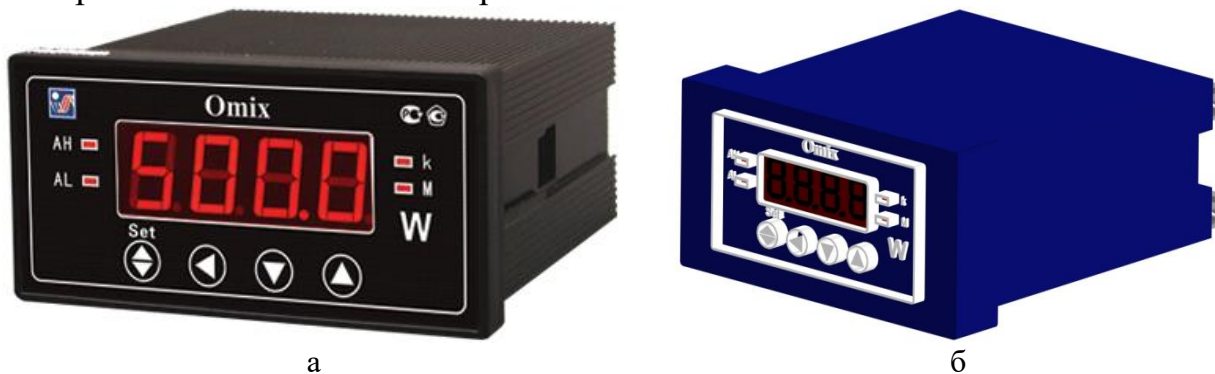


Рисунок 8 – Универсальный ваттметр: а – реальное изделие; б – 3D-модель

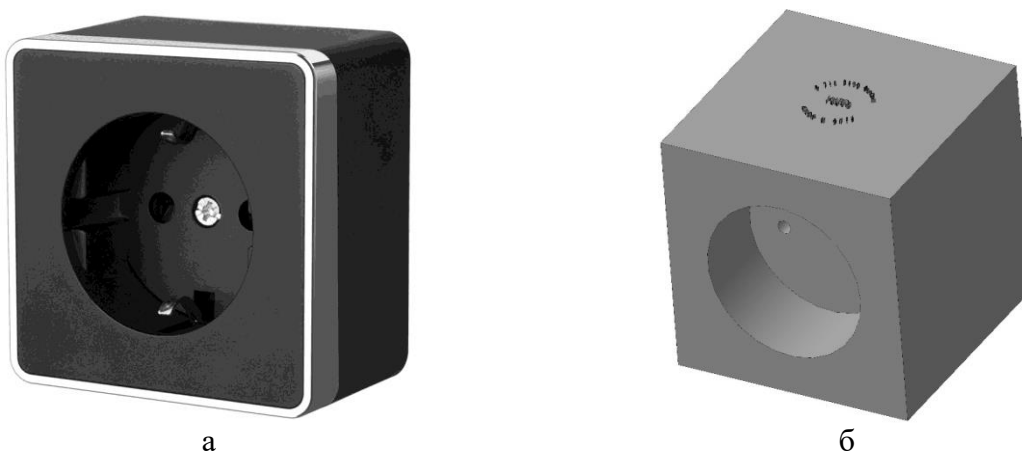


Рисунок 9 – Розетка однофазная: а – реальное изделие; б – 3D-модель

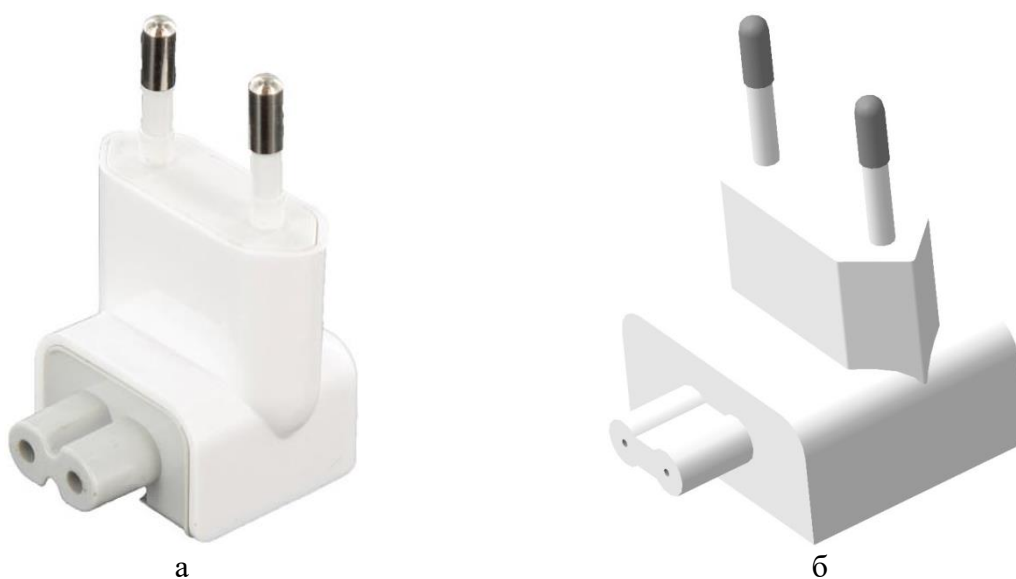


Рисунок 10 – Вилка однофазная: а – реальное изделие; б – 3D-модель

Источником однофазного и трехфазного переменного тока будем принимать существующую сеть необходимого класса напряжения. Для этих целей, в зависимости от типа сети (однофазная или трехфазная), для

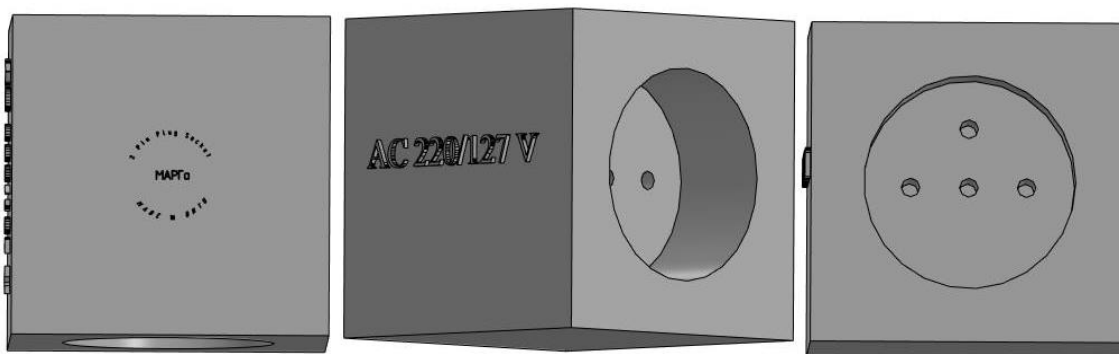
подключения исследуемой цепи будем использовать, так называемые, штепсельные соединители, состоящие из штепсельных розеток и вилок. Для чего и создадим их 3D-модели (рисунок 9–11).

Розетка (рисунок 9 и 11) предназначена для подключения электрической цепи к сети.

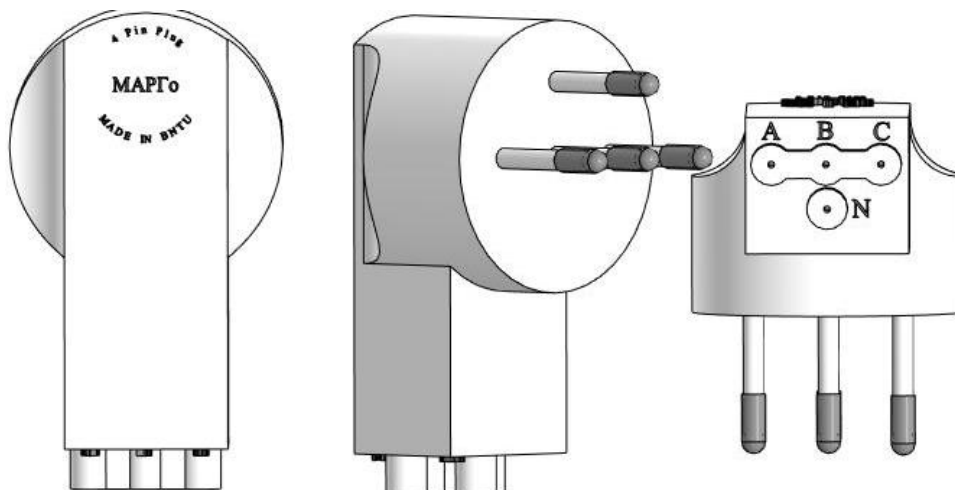
Вилка (рисунок 10 и 11) предназначена для подсоединения потребителей электрической энергии к сети.



а



б



в

Рисунок 11 – Трёхфазная вилка и розетка:

а – реальные изделия; б – 3D-модель розетки, в – 3D-модель вилки

Глядя на представленные выше 3D-модели реальных электротехнических изделий, можно сделать вывод о том, что 3D-моделирование позволяет достичь

очень высокой степени детализации объектов, передать их натуральную величину, оценить проекты будущих схем в трехмерном изображении, а также, накопив элементную базу, позволяет в короткие сроки собрать практически любую электрическую цепь и провести ее анализ.

Литература

1. Websoftex.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://websoftex.ru/3d-modelirovanie-cto-eto-i-dlya-chego-nuzhno/>. – Дата доступа : 10.10.2020.
2. РКС Компоненты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rcscomponents.com/product/WT505090-20K2-A10-G.html/>. – Дата доступа : 10.10.2020.
3. Электроника и связь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=3621/>. – Дата доступа : 10.10.2020.
4. Электроника и связь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=26658/>. – Дата доступа : 10.10.2020.
5. P-25-1111-00 // АО «НВА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nva-korenevo.ru/produktsiya/nizkovoltnoe-oborudovanie/kommutatsionnye-apparaty/25/raz-ediniteli-serii-r-25-1111.html/>. – Дата доступа : 10.10.2020.
6. РКС Компоненты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/kls8-01103-rvs2-3-5-klemma-sinyaya_56688.html/. – Дата доступа : 10.10.2020.
7. КИП Сервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kip-ural.su/p77870501-vattmetr-tsifrovoj-omix.html>. – Дата доступа : 10.10.2020.

УДК 621.311

ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И КАБЕЛЕЙ В ПЛАГИНЕ BIM ELECTRICAL DESIGN ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

В окне управления электрическими цепями находится изображение, так называемая область отображения информации о выбранной цепи, на которой схематично указана электрическая цепь, например от распределительного пункта P1.1, далее к ЩС1.1 (рисунок 1) и до розеток (в проекте они расположены по три в одном месте). Мы можем выбрать также другую цепь, например от распределительного пункта P1.1, далее к ЩА1.1 и до светильников аварийного освещения (рисунок 2).

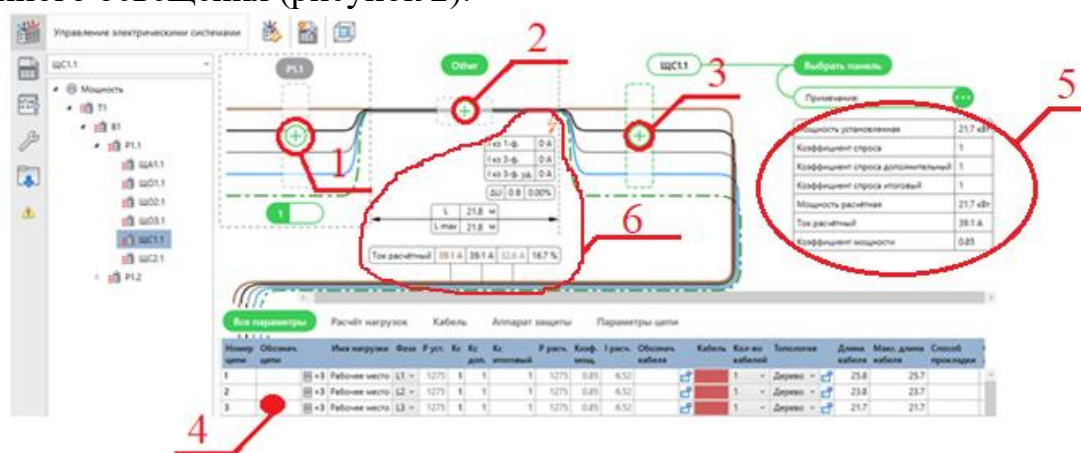


Рисунок 1 – Цепь от распределительного пункта P1.1, далее к ЩС1.1 и до розеток

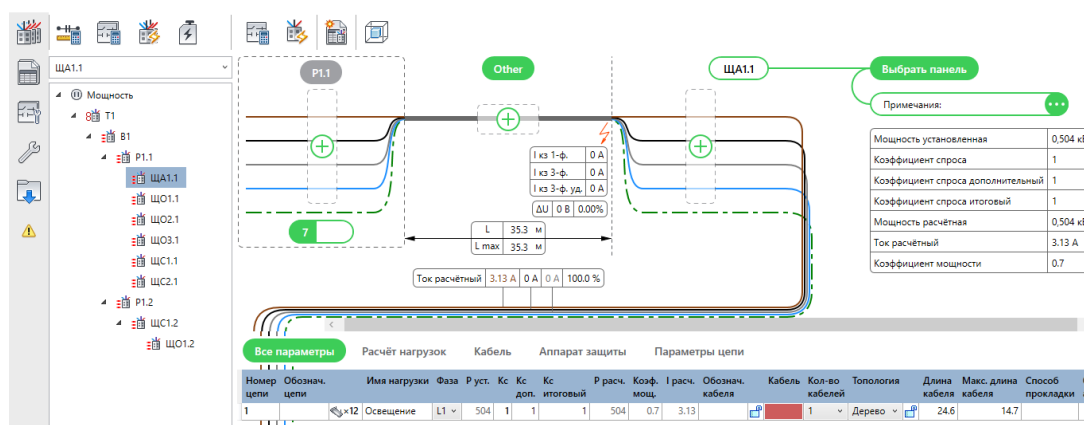


Рисунок 2 – Цепь от распределительного пункта P1.1, далее к ЩА1.1 и до светильников аварийного освещения

На рисунке 1 выделены некоторые области:

- 1 область – область с информацией о панели (щите), к которой подключена выбранная панель (щит) и характеристики оборудования;
- 2 область – характеристики подобранного кабеля и информация по расчетам;

- 3 область – устанавливаемый вводной аппарат;
- 4 область – область информации об подключенных группах электроприёмников;
- 5 область – расчётные характеристики щита;
- 6 область – область с информацией о расчётах длин кабеля, токов КЗ, потеря напряжения в кабеле и токи нагрузки в цепи.

На рисунке 1 и 2 видно, что не выбраны аппараты защиты и кабель, также на интерфейсе для подключенного оборудования и информации об отходящих линиях (рисунок 3) в колонках «Кабель» и «Тип аппарата защиты» не указаны выбранные кабели и аппараты защиты. С помощью плагина BIM Electrical Design кабель и защитные аппараты можно выбрать автоматически или вручную. Автоматический выбор осуществляется с помощью кнопки «Подобрать оборудование» (рисунок 4).

Номер цепи	Обознач. цепи	Имя нагрузки	Фаза	Р. уст.	Кс доп.	Кс итоговый	Р. расч.	Коэф. мощ.	И. расч.	Обознач. кабеля	Кабель	Кол-во кабелей	Топология	Длина кабеля	Макс. длина кабеля	Способ прокладки
1	⚡x34	Освещение	L1	1428	1	1	1428	0,7	8,87			1	Дерево	85,8	30,6	
2	⚡x33	Освещение	L2	1386	1	1	1386	0,7	8,61			1	Дерево	81,3	26,9	
3	⚡x31	Освещение	L3	1302	1	1	1302	0,7	8,09			1	Дерево	88	31,5	
4	⚡x19	Освещение	L1	798	1	1	798	0,7	4,96			1	Дерево	68	46,7	

Обознач. аппарата защ.	Сниж. коэф.	Допустимый ток кабеля	Тип аппарата защиты	Доп. устройства	ΔU	И.кз 1-ф.	И.кз 3-ф.	И.кз 3-ф. уд.	Примечания
	0,65	0			0 (0,00 %)	0	0	0	
	0,65	0			0 (0,00 %)	0	0	0	
	0,65	0			0 (0,00 %)	0	0	0	
	0,65	0			0 (0,00 %)	0	0	0	

Рисунок 3 – Интерфейс для подключенного оборудования и информации об отходящих линиях

ЩО2.1

Подобрать оборудование

Other

ЩО2.1

Выбрать панель

Примечания:

Мощность установленная	4,91 кВт
Коэффициент спроса	1
Коэффициент спроса дополнительный	1
Коэффициент спроса итоговый	1
Мощность расчётная	4,91 кВт
Ток расчётный	13,8 А
Коэффициент мощности	0,7

Ток расчётный 13,8 А 8,61 А 8,09 А 41,5 %

Все параметры

Номер цепи	Обознач. цепи	Имя нагрузки	Фаза	Р. уст.	Кс доп.	Кс итоговый	Р. расч.	Коэф. мощ.	И. расч.	Обознач. кабеля	Кабель	Кол-во кабелей	Топология	Длина кабеля	Макс. длина кабеля	Способ прокладки	Обозн. аппарат
1	⚡x34	Освещение	L1	1428	1	1	1428	0,7	8,87			1	Дерево	85,8	30,6		
2	⚡x33	Освещение	L2	1386	1	1	1386	0,7	8,61			1	Дерево	81,3	26,9		
3	⚡x31	Освещение	L3	1302	1	1	1302	0,7	8,09			1	Дерево	88	31,5		
4	⚡x19	Освещение	L1	798	1	1	798	0,7	4,96			1	Дерево	68	46,7		

Рисунок 4 – Функция автоматического подбора оборудования

На рисунке 5 представлен результат автоматического выбора кабеля ВВГнг(А)-LS 5x2,5 и аппарата защиты, автоматически рассчитаны токи однофазного, трёхфазного и трёхфазного ударного тока КЗ, падение напряжения в кабеле в вольтах и в %. Также на рисунке 5 выделена область, при нажатии на которую можно вручную выбрать аппарат защиты (появляются варианты различных автоматических выключателей).

При нажатии на необходимый автоматический выключатель появляются варианты данного аппарата защиты (тип, предельный отключаемый ток, число

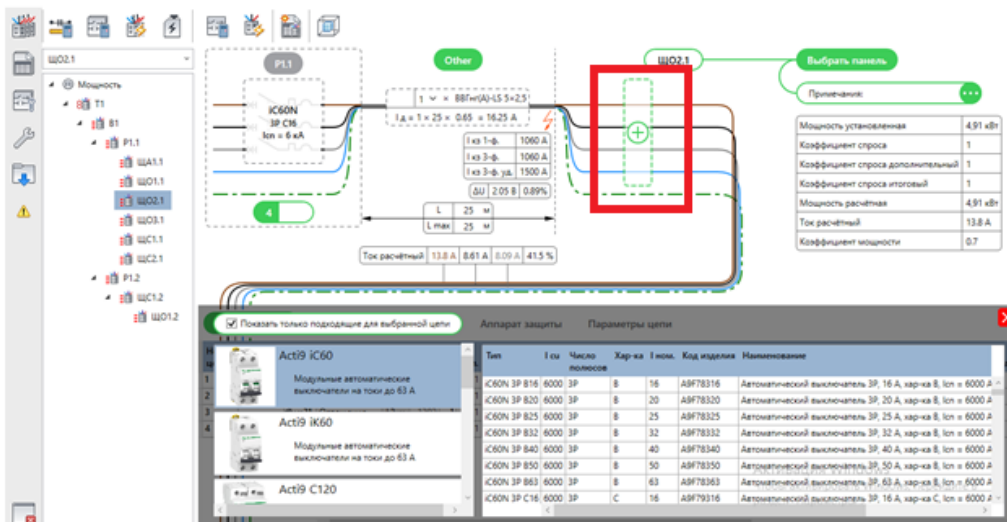


Рисунок 5 – Автоматически выбранные аппараты и кабель, а также ручной выбор

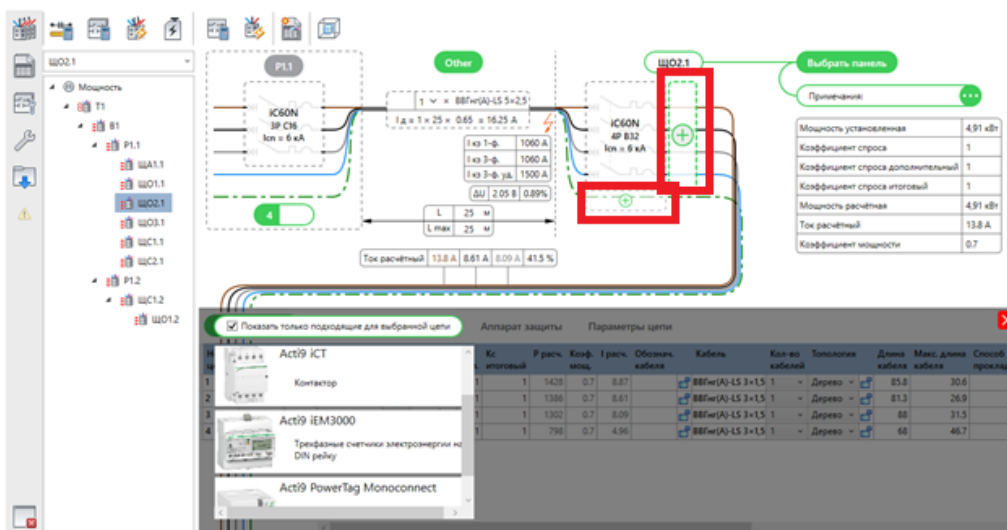


Рисунок 6 – Области добавления и выбора дополнительного оборудования

Все параметры																	
Расчёт нагрузок																	
Кабель																	
Аппарат защиты																	
Параметры цепи																	
Номер цепи	Обознач. цепи	Имя нагрузки	Фаза	Р уст.	Кс	Кс доп.	Кс итоговый	Р расч.	Козф.	l расч.	Обознач. кабеля	Кабель	Кол-во кабелей	Топология	Длина кабеля	Макс. длина кабеля	Способ прокладки
1	х34	Освещение	L1	1428	1	1	1	1428	0.7	8.87		ВВГнг(A)-LS 3x1,5	1	Дерево	85.8	30.6	
2	х33	Освещение	L2	1386	1	1	1	1386	0.7	8.61		ВВГнг(A)-LS 3x1,5	1	Дерево	81.3	26.9	
3	х31	Освещение	L3	1302	1	1	1	1302	0.7	8.09		ВВГнг(A)-LS 3x1,5	1	Дерево	88	31.5	
4	х19	Освещение	L1	798	1	1	1	798	0.7	4.96		ВВГнг(A)-LS 3x1,5	1	Дерево	68	46.7	

Все параметры															
Расчёт нагрузок															
Кабель															
Аппарат защиты															
Параметры цепи															
Номер цепи	Обознач. цепи	Топология	Длина кабеля	Макс. длина кабеля	Способ прокладки	Обознач. аппарата защ.	Сниж. коэф.	Допустимый ток кабеля	Тип аппарата защиты	Доп. устройства	ΔU	l кз 1-ф.	l кз 3-ф.	l кз 3-ф. уд.	Примечания
1	х34	Дерево	85.8	30.6		IC60N 1P C10	0.65	12.3			7,94 (3.45 %)	360	0	0	
2	х33	Дерево	81.3	26.9		IC60N 1P C10	0.65	12.3			7,07 (3.08 %)	391	0	0	
3	х31	Дерево	88	31.5		IC60N 1P C10	0.65	12.3			7,37 (3.21 %)	353	0	0	
4	х19	Дерево	68	46.7		IC60N 1P C10	0.65	12.3			6 (2.61 %)	266	0	0	

Рисунок 7 – Интерфейс для подключенного оборудования и информации об отходящих линиях после автоматического выбора оборудования

полюсов, характеристика, номинальный ток и наименование). После выбора аппараты защиты (вводного аппарата в щите) появляются две дополнительные области, показанные на рисунке 6:

– область, которая находится правее – это выбор дополнительного оборудования, устанавливаемого последовательно в вводном аппарате (например, контакторы, трехфазные счетчики электроэнергии и т. д.);

– область, которая находится ниже – это выбор дополнительного оборудования, устанавливаемого параллельно вводному аппарату.

В интерфейсе для подключенного оборудования и информации об отходящих линиях в колонках «Кабель» и «Тип аппарата защиты» появились автоматически выбранные аппараты и кабель (рисунок 7).

Литература

1. Инструкция по использованию BIM Electrical Design v.2.0. – М. : Schneider Electric, 2020. – 57 с.

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Хорошко Д.И.

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

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, которая специализируется на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования. Это направление динамично развивается во многих странах мира. Появляются новые установки и комплексы наземного базирования, а также морские (оффшорные) ветроэлектростанции. Лидерами на данный момент являются Китай, США и Германия, однако и остальной мир постепенно развивает это перспективное направление «чистой» энергетики, базирующейся на неисчерпаемом природном ресурсе – энергии ветра. С каждым годом в мире устанавливается все больше и больше ветрогенераторов, и налицо тенденция к дальнейшему распространению технологии.

Использование ветрогенераторов – одна из главных альтернатив традиционным технологиям производства электроэнергии. Кажущаяся простота и доступность природного энергоресурса ограничиваются жесткостью требований функционирования в составе электроэнергетических систем. Фундаментальными недостатками использования энергии ветра являются низкая плотность потока первичного энергоресурса и его неуправляемость.

Рассмотрим преимущества и недостатки использования ветроэлектрических установок.

Преимущества:

– используется полностью возобновляемый источник энергии. В результате действия солнца, в атмосфере постоянно движутся воздушные потоки, для создания которых не требуется добывать, транспортировать, и сжигать никакое топливо. Источник принципиально неисчерпаем;

– в процессе работы ветряной электростанции полностью отсутствуют вредные выбросы. Это значит, что отсутствуют как любые парниковые газы, так и какие бы то ни было отходы производства вообще. То есть технология экологически безопасна;

– ветряная турбина и основные рабочие части таких генераторов расположены на значительной высоте над землей. Мачта, на которой установлена ветряная турбина, занимает небольшую площадь на земле, поэтому окружающее пространство может быть с успехом использовано для хозяйственных нужд, там могут быть размещены различные здания и сооружения, например, для сельского хозяйства;

– применение ветрогенераторов особенно оправдано для изолированных территорий, куда обычными способами электроэнергию не доставить, и автономное обеспечение для таких территорий является, пожалуй, единственным выходом;

– после введения в эксплуатацию ветряной электростанции, стоимость киловатт-часа генерируемой таким образом электроэнергии значительно снижается. Например, в США специально исследуют работу вновь установленных станций, оптимизируют эти системы, и таким образом удается снижать стоимость электроэнергии для потребителей до 20 раз от первоначальной стоимости;

– техническое обслуживание в процессе эксплуатации минимально.

К недостаткам относятся:

– зависимость от внешних условий в конкретный момент. Ветер может быть сильным, или его может не быть вообще. Для обеспечения непрерывной подачи электроэнергии потребителю в таких непостоянных условиях, необходима система хранения электроэнергии значительной емкости. Кроме этого, требуется инфраструктура для передачи этой энергии;

– сооружение ветровой установки требует материальных затрат. В некоторых случаях привлекаются инвестиции в масштабах регионов, что не всегда легко обеспечить. Именно стартовый этап, само возведение проекта является весьма дорогостоящим мероприятием. Упомянутая выше инфраструктура – немаловажная часть проекта, которая также стоит денег. В среднем, стоимость 1 кВт установленной мощности составляет \$1000;

– некоторые эксперты считают, что ветряки искажают природный ландшафт, что их вид нарушает естественную природную эстетику. Поэтому крупным фирмам приходится прибегать к помощи профессионалов по дизайну и ландшафтной архитектуре;

– ветряные установки производят аэродинамический шум, который может причинить дискомфорт людям. По этой причине в некоторых странах Европы принят закон, по которому расстояние от ветряка до жилых домов не должно быть меньше 300 метров, а уровень шума не должен превышать 45 дБ днем и 35 дБ ночью;

– есть небольшая вероятность столкновения птицы с лопастью ветряка, однако она настолько мала, что вряд ли нуждается в серьезном рассмотрении. А вот летучие мыши более уязвимы, поскольку строение их легких, в отличие от строения легких птиц, способствует получению смертельной баротравмы, при попадании млекопитающего в область пониженного давления около края лопасти.

Экологическими особенностями следует считать существенно большие площади отчуждаемых земель, шумовое воздействие, инфразвуковые вибрации, а также проблему утилизации крупногабаритных элементов конструкции и фундаментов.

Безусловное преимущество ветряных электростанций (ВЭС) по сравнению с традиционными – исключение выбросов продуктов горения на ТЭС, работающих на углеводородном топливе, а также исключение топливной составляющей себестоимости выработки электроэнергии. По сравнению с АЭС ветроэнергетика не демонстрирует явных преимуществ.

В Республике Беларусь развитие технологий выработки электроэнергии на основе возобновляемых источников определяется стратегией развития

национальной энергетики. Ввод и использование альтернативных генерирующих источников регламентируется законом. Целесообразность применения ветрогенераторов является предметом исследований и дискуссий.

ВЭУ установлены в Гродненской, Минской, Витебской, Могилевской областях. Самая крупная ветроэнергетическая установка в Беларуси действует в посёлке Грабники, Новогрудского района, Гродненской области: её мощность составляет 1,5 МВт. Эффективность и надежность работы ВЭУ способствовала повышению интереса у ряда частных фирм к участию в строительстве объектов так называемой «зеленой» энергетики. Так, в течение 2012–2013 годов по состоянию на 30 июля 2013 года РУП «Гродноэнерго» были выданы технические условия шести компаниям на сооружение более 10 ветроэнергетических станций общей мощностью 37 МВт.

В середине августа 2007 года в СЭС «Брест» начала работать первая на Брестчине ветроэнергетическая установка.

Энергия ветра, преобразованная в электрическую, используется на автозаправочной станции, принадлежащей совместному белорусско-итальянскому предприятию «БелТрансОйл». СП «БелТрансОйл» в сутки потребляет 30–35 кВт·ч электроэнергии, что обходится предприятию в течение года в 50 тыс. долларов. Использование ВЭУ позволит экономить до 10 % финансовых средств.

На въезде в д. Занарочь германским благотворительным общественным объединением «Дома вместо Чернобыля» для переселенцев из Чернобыльской зоны были построены две ВЭУ. На 50-метровой башне установлена ветровая турбина Nordex мощностью 250 кВт, а на 60-метровой цельнометаллической опоре – Repower мощностью 600 кВт. Обе установки производят в год около 1,3–1,4 млн. кВт·ч электроэнергии. Такого количества электроэнергии хватит на то, чтобы обеспечить теплом и светом хотя бы агрогородок Занарочь и близлежащие населенные пункты. Ученые ведут постоянное наблюдение за их работой. Анализ данных показывает, что наши показатели ничуть не хуже, а иногда даже лучше зарубежных. Ветер нашу республику не обходит стороной. Остается только использовать его бесплатную энергию.

По данным Государственного кадастра возобновляемых источников энергии, в Беларуси на конец 2017 г. работали 47 ветроэнергетических установок общей мощностью 84 МВт. Среднегодовая скорость ветра на территории страны не превышает 4,4 м/с, однако в отдельных районах, расположенных на холмах Минской, Оршанской и Городокской возвышенностей, наблюдается скорость ветра от 5,2 до 5,7 м/с на высоте 80–100 м, что является оптимальным для ВЭУ большой мощности.

На 2019 год количество ветроэнергетических установок увеличилось до 96 мощностью 100,95 МВт. Крупнейший ветропарк (6 объединенных ВЭУ) – Новогрудский р-н (9 МВт, РУП «Гродноэнерго»).

Широкое распространение ВЭС требует анализа приемлемости географических и климатических условий, выбора наиболее целесообразных технических решений и параметров отдельных ВЭС и ветропарков в целом,

учета условий и результатов эксплуатации введенных ВЭС и проверки методик расчета конструктивных и режимных параметров.

Применение ветроэнергетики в мировой энергетике и развитие технологий производства и эксплуатации пока не дали ответов на ряд фундаментальных и технологических ограничений в использовании ветряных электростанций. Упомянем некоторые из них:

- вынужденность места расположения;
- ограниченный срок службы (20–25 лет);
- низкий коэффициент использования установленной мощности (0,25–0,30);
- недостаточная надежность покрытия графика нагрузки (наиболее опасными являются порывы ветра, провоцирующие останов всего ветропарка), приводящая к нестабильности работы энергосистемы;
- необходимость дополнительной электрической сети по сбору электроэнергии;
- гололедообразование как наиболее неблагоприятное явление в климатических условиях Беларуси.

Было бы ошибкой считать работу ВЭС экологически безупречной:

- площадь ветропарка более чем в 100 раз превышает площадь отчуждения для традиционных ТЭС на единицу установленной мощности, а с учетом различия коэффициента использования установленной мощности цифра увеличивается еще в разы;
- шум лопастей распространяется существенно дальше (до 2 км) принятых норм удаления ВЭС от мест проживания (300–500 м), вызывая тем самым перманентный стресс и вероятность ухудшения здоровья людей;
- мало изучена проблема генерации, распространения и влияния инфранизких вибраций и визуального воздействия на психику движущихся элементов исполинских объектов;
- не решены вопросы эффективной утилизации оборудования (лопасти, мачта) и демонтажа фундаментов (тысячи тонн высокопрочного армированного бетона каждый).

Практика применения показывает:

- габариты и максимальные единичные мощности ВЭС подбираются к своим пределам (150–180 м, 10–12 МВт) из-за ограничений монтажа, прочности материалов и экономической целесообразности;
- наилучшая производительность получается при расположении в прибрежном мелководье, но требует вдвое больших капитальных вложений;
- уменьшение централизованного субсидирования в странах Европы снижает темпы роста мощностей ВЭС и ужесточает требования конкурентоспособности;
- оплата повышающего тарифа на покупку коммерческой ветровой электроэнергии в 2–3 раза превышает себестоимость ее получения на ВЭС Белэнерго.

Следует отметить, что, несмотря на обширность географического пространства, в Беларуси нет пустынных территорий, а строительство

сверхвысоких объектов имеет ограничение по использованию воздушного пространства.

Успешное преобразование кинетической энергии ветрового потока в электрическую, кроме наличия подходящего ветрового потока, требует тщательного выбора площадки для строительства с учетом требований охраны окружающей среды, температурно-влажностного атмосферного режима, рельефа местности и геологических особенностей места расположения. Выбор площадки для строительства будущего объекта – один из важнейших этапов исследовательских работ. Место установки ВЭС должно отвечать требованиям в области охраны окружающей среды с учетом ближайших и отдаленных экологических, экономических, социальных и иных последствий эксплуатации ВЭУ, с соблюдением приоритета сохранения благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов.

Первоочередными факторами при выборе площадки являются параметры ветрового потока. Для определения мест наиболее рационального размещения ВЭУ организуются измерения параметров ветра – средней максимальной скорости, направления ветра, повторяемости направления ветров (розы ветров). По результатам полученных параметров ветра или расчетным климатическим данным о них определяется ветроэнергетический потенциал (ВЭП) предполагаемой площадки размещения ВЭУ, оценивается ожидаемый выход электрической энергии, даются рекомендации по выбору ВЭУ. На практике для определения ВЭП используют данные с опорных метеостанций, располагающихся на расстоянии до 40 км от площадки. Затем осуществляется пересчет для выбранной площадки с учетом высоты над уровнем моря и открытости местности.

Необходимо учитывать влияние рельефа местности на энергетические характеристики будущей ВЭУ. Характер поверхности размещения ВЭУ определяет возможное падение скорости ветрового потока, проходящего над поверхностью земли, а также изменение направления потока и возникновение касательных напряжений. При рассмотрении конкретной предполагаемой площадки размещения объекта ветроэнергетики нужно учитывать эффект влияния на поток изменений высоты рельефа вокруг площадки, например 5 %-е увеличение высоты в ландшафте может иметь 5 %-е воздействие на среднюю скорость ветра на уровне оси ветрогенератора, что приведет к 15 %-му увеличению доступной мощности. С учетом вышесказанного предпочтительным местом для размещения ВЭУ являются плоские вершины, а также местность, в ближайшем окружении которой отсутствуют высокие препятствия.

Литература

1. О возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 27.12.2010 № 204-З // Законодательство Республики Беларусь. Режим доступа : <http://pravo.newsby.org/belarus/zakon0/z312.htm>. – Дата доступа : 12.04.2020.

2. Дебиев, М.В. Системная классификация факторов, определяющих выбор вариантов размещения объектов ветроэнергетики / М.В. Дебиев, Г.А. Попов // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 15–22.

3. Справочник по климату Беларуси / Государственный комитет по гидрометеорологии Республики Беларусь, Республиканский гидрометеоцентр. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2003. – Ч. 4 : Ветер. Атмосферное давление. – 124 с.

УДК 621.3

**ПРОГРАММА ТРЕНАЖЕР
ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ В СХЕМАХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ МИНСКОЙ ТЭЦ-3**

Дядюк Н.В.

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

Появление и широкое применение персональных ЭВМ обеспечило качественно новые возможности для создания систем подготовки и поддержания квалификации оперативного персонала электростанций и подстанций. На ряду с полномасштабными и малыми тренажерами в этих системах начинают активно применяться как за рубежом, так и в Беларуси диалоговые тренажеры на базе ПЭВМ.

Все системы такого сложного технического комплекса, как энергоблок современной электростанции, становятся единым целым только благодаря человеку основному звену комплекса. Культура эксплуатации определяет показатели работы электростанции не в меньшей мере, чем качество проектирования, изготовления, монтажа и наладки оборудования.

Важнейшую часть культуры эксплуатации составляет культура безопасности, хотя это понятие и выходит за чисто эксплуатационные рамки. Понятие культуры безопасности включает в себя высокий профессионализм и чувство ответственности конструкторов, проектантов, изготовителей, монтажников оборудования, наладчиков всех систем, эксплуатационного и ремонтного персонала за соблюдение безусловного приоритета надежности и безопасности при принятии решений на всех стадиях проектирования, строительства станции и ее эксплуатации. Для реализации культуры безопасности необходимо глубокое понимание этими специалистами всех рабочих процессов (протекающих в элементах энергоблока, как при нормальной эксплуатации, так и при авариях) с учетом их взаимосвязи.

Важную роль играют прогнозирование возможных последствий каждого принятого решения, проигрывание (теоретическое или на математических моделях с помощью ЭВМ) на стадии принятия решений как типовых, так и самых маловероятных ситуаций, которые могут встретиться на практике. Все специалисты, участвующие в создании и эксплуатации электростанции, должны четко понимать, что безопасность, как оборудования, так и персонала (а в наиболее ответственных случаях и населения) определяется цепью практических действий: начиная от проектов станции и оборудования для нее и кончая эксплуатацией и ремонтом. Особая ответственность в обеспечении безопасности ложится на эксплуатационный персонал потому, что во первых, реальные аварии происходят не в конструкторских бюро или проектных организациях, а на электростанциях, и во вторых, развитие аварийной ситуации порой оставляет персоналу чрезвычайно мало времени на поиск, принятие единственно верного решения и его реализацию. От правильности действий персонала зависит, будет ли быстро ликвидировано возникшее нарушение нормального режима или оно разовьется в серьезную аварию. В энергетике (как

и других отраслях техники, связанных с повышенной опасностью, авиации, химической промышленности и др.) из-за ошибок персонала происходит множество тяжелых аварий. От оперативного персонала электростанций требуются высокая дисциплинированность в точном соблюдении технологического регламента и эксплуатационных инструкций, основанная на понимании возможных негативных последствий отступлений от этих документов, большая внимательность, способность быстро и глубоко анализировать эксплуатационную ситуацию. Важно понимать, что длительная нормальная работа оборудования (без всяких отступлений от нормальных значений технологических параметров) не является гарантией того, что в следующую минуту не наступит аварийная ситуация. При ее развитии не должно быть растерянности, требуются быстрота реакции, хладнокровие, четкие, продуманные действия.

Усугубить аварийную ситуацию может как принятие неправильных решений, так и уклонение от принятия решений.

Поэтому и необходимо разрабатывать тренажеры, на которых персонал без риска повреждения оборудования и без риска для собственной жизни проведет тренировку.

Главная цель разработки программы-тренажера повышение квалификации специалистов выработка у них умения быстро принимать решения в самых разнообразных ситуациях, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Умение это формируется из способности мгновенно оценивать ситуацию и прогнозировать ее развитие по наблюдаемым параметрам, видеть самые существенные проблемы и находить их решения, порой нетривиальные, из полного спектра возможных решений, оценивая сильные и слабые стороны, а также последствия каждого решения, с тем, чтобы на базе этой оценки выбрать именно то решение, которое будет воплощено в жизнь.

В настоящее время программы-тренажеры активно используются во всех отраслях для подготовки кадров. Это обусловлено тем, что тренировку 80 % операторских навыков можно проводить на тренажерах, обладающих только 30 % степенью подобия.

Так, например 25 января 2012 года запущен компьютерный тренажер для подготовки специалистов для будущей атомной станции в Объединенном институте энергетических и ядерных исследований «Сосны» Национальной академии наук Беларуси. Благодаря современной технике будущие сотрудники атомной станции смогут виртуально знакомиться с ее основными элементами и принципами работы. С помощью специальных программ тренажер моделирует основные процессы на АЭС. На нем могут проходить обучение будущие ведущие инженеры реакторного и турбинного блока, начальник смены. Они имеют возможность виртуально открывать станцию и контролировать ее работу, а также выполнять определенные задания.

Сейчас широко применяются программы-тренажеры для подготовки водителей. Одним из таких является «Подготовка к экзамену по ПДД» и представляет собой мультимедийное интерактивное пособие для самостоятельной проверки знаний правил дорожного движения и подготовки к

сдаче квалификационного экзамена по старой и новой методике приёма экзамена на получение права управления транспортными средствами категорий: «А», «В», «С», «D».

В космонавтике активно применяются программы-тренажеры для подготовки кадров.

Так что с уверенностью можно сказать, что данные программы-тренажеры являются неотъемлемым звеном в процессе подготовки высококвалифицированных кадров.

При подготовке оперативного персонала особое внимание отводится изучению схемы станции. Персонал должен досконально знать ее, понимать все процессы, знать местонахождение всего оборудования и устройств релейной защиты и автоматики, представлять какие последствия следуют за отключением любого из оборудования. Персонал обучается правилам выполнения операций с коммутационными аппаратами, изучает последовательность переключений. Обязательно проводится проверка знаний правил технической эксплуатации, правил безопасности и производственных инструкций. Затем производится дублирование на рабочем месте. Кроме этого проходят противоаварийные тренировки. Персонал сдает экзамены на профпригодность, проходит медицинские комиссии. После длительного отсутствия на рабочем месте производится повторное дублирование. Персонал не прошедший обучение, или дублирование, или медкомиссию к работе не допускается.

Главная схема Минской ТЭЦ-3 представлена в виде двойной системы шин с обходной, но при этом, в программе-тренажере она является свободно конфигурируемой. Пользователь может сам свободно задать начальное положение всех элементов на схеме.

Алгоритм реализован в виде программы написанной на языке Delphi в среде программирования «Borland Delphi Builder 7».

В данной программе-тренажере предусмотрены 12 типовых бланков переключений:

1. Вывод в ремонт ВЛ № 1.
2. Ввод в работу ВЛ № 1.
3. Вывод из работы ВЛ № 2.
4. Ввод в работу ВЛ № 2.
5. Перевод ВЛ № 1 на обходной выключатель.
6. Перевод ВЛ № 2 на обходной выключатель.
7. Вывод в ремонт обходного выключателя.
8. Ввод в работу обходного выключателя.
9. Вывод из работы ТН 1 СШ.
10. Ввод в работу ТН 1 СШ.
11. Вывод из работы ТН 2 СШ.
12. Ввод в работу ТН 2 СШ.

Программа-тренажер реализует два режима проверки:

1. Обучающий.
2. Контролирующий.

При выборе обучающего режима, персоналу предоставляется выбрать один из бланков переключения. Далее программа-тренажер переходит в режим тренировки. В данном режиме пользователю предоставляются 3 варианта переключений на выбор, из которых лишь один правильный. Пользователь должен выбрать на схеме элемент над которым предполагает совершить действие, и выбрать собственно само действие. В случае принятия правильного решения, программа выдаст на экран сообщение о правильности действия и перейдет к следующему пункту. В случае ошибки на экране появится сообщение об ошибке, программа приостановится на данном пункте до выбора пользователем правильного действия. В данных переключениях обучаемый производит переключения как в первичных цепях схем распределительных устройств, так и во вторичных цепях устройств релейных защит и автоматики. После завершения переключений программа-тренажер выдает на экран общий процент правильности выполняемых переключений, удовлетворительным считается результат в 100 % и пользователю предлагается перейти в контролирующий режим, в противном случае тестируемый должен вновь пройти этот тест.

При выборе контролирующего режима действия выполняются аналогично обучающему режиму за исключением того, что тестируемому не предоставляются варианты переключений, он должен сам определить порядок и выполнить их. В конце выдается сообщение с общим процентом правильных переключений. Результат менее 100 % считается не удовлетворительным и пользователю предлагается перейти в обучающий режим.

В результате выполнения работы были рассмотрены основные пути развития процесса подготовки технического персонала для электростанций с применением современных информационных технологий. Изучено универсальное программное обеспечение, применяющееся в учебных центрах. Обоснована необходимость разработки и применения специальных программ-тренажеров по производству оперативных переключений в главных схемах электростанций на примере Минской ТЭЦ-3. Эта программа-тренажер в последующем может быть внедрена в обучающий процесс, как оперативного персонала электростанций и подстанций, так и для обучения в учреждениях образования. Обучение на данном тренажере позволит оперативному персоналу электростанций успешно применять свои знания и в последующей практической деятельности.

Литература

1. Гринзоу, Лу Философия программирования для Windows 95/NT / Лу Гринзоу / Пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 1997. – 640 с.
2. Фокс, Дж. Программное обеспечение и его разработка / Дж. Фокс / Пер. с англ. – М. : Мир, 1985. - 368 с.
3. Лезнов, С.Н. Обслуживание электрооборудования электрических станций и подстанций. Учебник для профес.-технич. учебных заведений и подготовки рабочих на производстве / С.Н. Лезнов, А.А. Тайн. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М. : Высшая школа, 1991. – 625 с.

УДК 621.3

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ
ШИНОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Смоляков Е.А.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

Система шинопроводов впервые появилась в США в 1930-м году, когда для распределения электроэнергии при строительстве многоэтажных зданий и для развивающихся производственных технологий заводов потребовалось создание новых инженерных решений.

В 1950-м году системы шинопроводов стали использоваться в Японии и Европе, а их производство в Турции держит начало в 1970-ом году.

Шинопровод может состоять из следующих частей:

– секции с местами для присоединения ответвительных устройств, либо без них;

– секции транспозиции фаз, гибкие, компенсационные, переходные или присоединительные секции;

– непосредственно ответвительные устройства.

Очевидно, сам термин «шинопровод» не дает нам представления о сечении, геометрической форме или размерах самого проводника.

Шинопровод по сравнению с кабельной трассой обладает рядом преимуществ: функциональность, более высокая степень защиты, электробезопасность, отсутствие простоев (нет необходимости отключения всей линии при снятии отводных блоков), быстрая и простая установка, экономия пространства. С задачей проектирования шинопровода с легкостью справляются специальные программы и плагины (Canbrass, BIM Busway и т. д.). Плагин BIM Electrical Design хорошо подходит для выполнения расчета цепи, расчета нагрузки и проектирования электроснабжения зданий и сооружений. Плагин BIM Busway хорошо подходит для проектирования трассы шинопровода, установки коробов отвода мощности. Данные плагины значительно упрощают подготовку проектной документации, позволяя уменьшить трудовременные затраты при проектировании.

Программа CanBRASS была создана более 10 лет назад и использовалась в основном сотрудниками Шнейдер Электрик по всему миру. На протяжении всего этого времени в программу постоянно вносились все новые и новые возможности. На сегодняшний день CanBRASS позволяет пользователю, не имеющему глубоких знаний шинопроводов Canalis, без труда составить и экспортировать в Excel безошибочную и полную спецификацию шинопровода, составить план его сборки, получить аксонометрический вид или 3-мерный чертеж шинопровода в среде AutoCAD, рассчитать его стоимость. В течение 10–60 минут пользователь может рассчитать трассу любой сложности.

Autodesk Revit – полнофункциональная САПР, предоставляющая возможности архитектурного проектирования, проектирования инженерных систем и строительных конструкций, а так же моделирования строительства. Обеспечивает высокую точность выполняемых проектов,

основана на технологии информационного моделирования зданий – BIM. Данная система обеспечивает высокий уровень совместной работы специалистов различных дисциплин и значительно сокращает количество ошибок. Позволяет создавать строительные конструкции и инженерные системы любой сложности. На основе проектируемых моделей специалисты имеют возможность выработать эффективную технологию строительства и точно определить требуемое количество материалов.

Для удобства работы и проектирования систем электроснабжения объекта, как на основе кабельных трасс, так и с использованием шинопроводов, компанией Schneider Electric для Autodesk Revit был разработан плагин BIM Electrical Design, значительно упрощающий работу в данном направлении. Плагин позволяет использовать данные из модели и дополнять её информацией.

Данный плагин имеет следующие функции:

- расчёт нагрузок (выполняется автоматически при запуске окна «Управление»);
- трассировка кабелей по кабеленесущей системе;
- автоматический подбор щитового оборудования и типов кабелей;
- автоматическая балансировка нагрузок;
- автоматический подбор габаритов НКУ (низковольтного комплектного устройства);
- анализ электротехнической модели;
- построение однолинейных схем;
- генерация спецификации и кабельного журнала.

Плагин BIM Busway предназначен для проектирования трасс шинопровода в Autodesk Revit.

Плагин довольно прост в использовании, позволяет в автоматическом режиме выстраивать трассы шинопровода по заданным параметрам.

Далее рассмотрим работу данного плагина на простом примере

Проектирование трассы шинопровода начинается с выбора и установки щита на чертеже (плане) здания, устанавливаются вводные секции шинопровода.

Далее настраиваются параметры шинопровода: номинал, полюсность, степень защиты, материал шинопровода.

Затем проводится трасса (к примеру, от одного щита к другому). После построения трассы добавляются прямые распределительные секции для установки коробок отвода мощности, выбираются защитные аппараты.

После окончания проектирования трасс шинопроводов через программу выводится проектная документация.

УДК 621.311

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Карпушонка К.А.

Научный руководитель – Пузиновский В.Д.

Как известно, в настоящее время в Беларуси сооружается Белорусская АЭС, что может вызвать серьёзные проблемы в возможностях регулирования нагрузки в энергосистеме. Белорусская энергосистема лишена возможности использовать регулирование, связанное с широтными перетоками мощности. Поэтому даже при условии разгрузки АЭС до технического минимума во время ночного снижения нагрузки как летом, так и зимой возникает избыток генерирующей мощности.

АЭС настолько особенная, что её включение в энергосистему нашей страны требует серьёзной проработки вопросов, связанных с графиками электрических нагрузок. Атомная электростанция должна работать в так называемом базовом режиме, т. е. с постоянной нагрузкой, достаточно длительное время. В этом случае она имеет максимальную эффективность. Из-за не постоянных нагрузок большое количество электроэнергии будет пропадать. Выключать блоки в период минимальных нагрузок не целесообразно и не выгодно. Ситуацию с маневренностью и излишней электроэнергией может помочь решить ГАЭС

ГАЭС (гидроаккумулирующие электростанции) служат для накопления электроэнергии во время низкого потребления сетями электричества (в ночной период) и отдачи её во время пиковых нагрузок, уменьшая тем самым необходимость изменения мощности в течение суток основных электростанций (атомных, тепловых). Тепловые и атомные станции не способны быстро снижать свою мощность во время значительного спада потребления, поэтому ночью себестоимость электроэнергии существенно возрастает и электростанции работают в значительной степени вхолостую.

Чаще всего ГАЭС устанавливаются рядом с мощными потребителями энергии недалеко от мощных тепловых или атомных электростанций там, где этому способствуют топографические, гидрологические и геологические условия. Необходимо, чтобы на местности имелась возможность устроить верхний бассейн и нижнее водохранилища рядом друг с другом. КПД гидроаккумулирующих станций колеблется в диапазоне 0,6–0,7. Обычно для работы используются уже существующие водохранилища и озёра или те места, где верхний бассейн имеет естественную приточность.

ГАЭС выполняют в современных энергосистемах роль маневренной мощности, мобильного резерва, способствуют повышению надёжности электроснабжения и экономии органического топлива. Они используются для покрытия пиковой части графиков электрической нагрузки, для участия в регулировании частоты и мощности, для улучшения режимов работы ТЭС и АЭС. В частности, ГАЭС очень хорошо сочетаются по режиму своей работы с ГРЭС и АЭС, которые неэкономично, технически невозможно и бессмысленно останавливать ночью в период значительного спада электрической нагрузки.

Избыточная ночная мощность ГРЭС и АЭС как раз и может быть использована для закачивания воды в верхние бассейны ГАЭС.

Потребление электроэнергии в зависимости от времени изменяется вместе с его течением. Однако, расположение пиков и провалов в течение дня остается неизменным.

Пиковые станции используются также для покрытия провалов в энергопоставках, когда нет ветра или облака закрывают солнце. ГАЭС могут решать те же самые задачи. Ветровая генерация, к примеру, максимальна по ночам, когда потребность в энергии минимальна, и электроэнергия просто не нужна в больших количествах. Тем не менее, ГАЭС требуют больше энергии, чем могут вернуть, то есть эта технология имеет смысл только в энергосистемах, в которых имеются излишки генерации в течение некоторых периодов времени и недостаток в другие периоды. Кроме того, эта технология имеет недостатки в виде влияния на окружающую среду. Работа ГАЭС сопровождается изменениями уровня воды в верхнем и нижнем резервуарах.

В качестве компенсирующего органа в энергосистеме предлагается сооружение аккумулирующей станции одного из приведенных в статье типов. Наиболее осуществимым на сегодняшний день будет строительство ГАЭС

Литература

1. Синюгин, В.Ю. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике: практическое пособие / В.Ю. Синюгин, В.И. Магрук, В.Г. Родионов. – М. : ЭНАС, 2017. – 353 с.

УДК 621.316.9

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Гурнович М.С.

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

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) – электрические аппараты, предназначенные для защиты оборудования систем электроснабжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. Основным элементом ОПН является нелинейный резистор – варистор (varistor, от англ. Vari(able) (Resi)stor – переменное, изменяющееся сопротивление).

В настоящее время варисторы для ограничителей изготавливаются как цилиндрические диски диаметром 28–150 мм, высотой 5–60 мм. На торцевой части дисков методом металлизации наносятся алюминиевые электроды толщиной 0,05–0,30 мм. Боковые поверхности диска покрывают глифталевой эмалью, что повышает пропускную способность при импульсах тока с крутым фронтом.

Применяемые в настоящее время разрядники с резисторами, имеющими недостаточную нелинейность, часто не позволяют обеспечить необходимое ограничение перенапряжений. Более глубокое снижение перенапряжений требует уменьшения нелинейного последовательного сопротивления, что приводит к существенному увеличению сопровождающих токов. Включение нелинейных сопротивлений на рабочее напряжение без искровых промежутков оказывается невозможным вследствие большого тока через нелинейное сопротивление при фазном напряжении.

Применение искровых промежутков вызывает дополнительные трудности, связанные с необходимостью уменьшения сопровождающего тока до величины, надежно отключаемой промежутками. Значительное улучшение защитных характеристик разрядников может быть достигнуто при отказе от использования искровых промежутков. Это оказывается возможным в ОПН при использовании резисторов с резко нелинейной вольтамперной характеристикой. Выполненные на основе окиси цинка варисторы отвечают этим требованиям и применяются в ограничителях перенапряжений. ОПН комплектуются из большого числа последовательно и параллельно соединенных окисно-цинковых варисторов. Число последовательно соединенных в колонку варисторов и число параллельных колонок в ограничителе перенапряжений определяется номинальным напряжением сети и зависит от требований к защитному уровню напряжения и пропускной способности ограничителей по току. Пропускная способность ОПН и характер их повреждения зависят от амплитуды и длительности протекающего через них тока. При импульсах тока большой длительности, характерных для коммутационных перенапряжениях, наблюдается существенный нагрев ОПН, в результате так воздействий может происходить проплавление в варисторах сквозных отверстий и их разрушение при токах с амплитудой 80–120 А. При кратковременных импульсах тока, характерных для грозовых перенапряжений,

варисторы не разрушаются даже при воздействии импульсов с амплитудой 1000–1500 А. Дальнейшее увеличение тока может приводить к их перекрытию по боковой поверхности, однако, ток перекрытия может быть значительно увеличен, если покрыть боковую поверхность варисторов специальным изоляционным лаком или залить колонку варисторов полимерным компаундом.

Большинство крупных фирм производителей электротехнической продукции при разработке и выпуске ОПН используют те же конструкторские решения, технологии и дизайн, что и для производства других электроустановочных изделий. Это касается габаритных размеров, материала корпуса, применяемых технических решений для установки изделия в электроустановку потребителя, внешнего вида и других параметров. Дополнительно к конструкции ограничителей перенапряжений могут быть предъявлены следующие требования:

- корпус устройства должен быть выполнен с соблюдением требований по защите от прямого прикосновения (класс защиты не ниже IP20);
- отсутствие риска возгорания устройства защиты или короткого замыкания в линии в случае его выхода из строя в результате перегрузки;
- наличие простой и надежной индикации выхода из строя, возможность подключения дистанционной сигнализации.

В настоящее время вентильные разрядники практически сняты с производства и в большинстве случаев отслужили свой нормативный срок службы. Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых подстанций, от грозовых и коммутационных перенапряжений теперь оказывается возможным только с использованием ОПН.

Следующим шагом должна стать установка защитных устройств. При выборе защитных устройств на оксидно-цинковых варисторах необходимо обращать внимание на следующие параметры:

- номинальное напряжение ограничителя. Это номинальное напряжение сети, для работы в которой предназначен ОПН;
- наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение на ограничителе. Это наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть длительно приложено к выводам ОПН. Это напряжение должно быть не ниже наибольшего рабочего фазного напряжения сети, для работы в которой предназначен ОПН;
- классификационное напряжение ограничителя. Это действующее значение напряжения промышленной частоты, которое прикладывается к ограничителю для получения классификационного тока;
- номинальный импульсный разрядный ток. Номинальный импульсный разрядный ток ОПН должен пропустить без существенного изменения параметров 20 раз;
- максимальный импульсный ток. Это значение испытательного грозового импульса тока (обычно формы 8/20 мкс), который устройство может пропустить один раз и не выйти из строя;

- остающееся напряжение. Это максимальное значение падения напряжения на ограничителе при протекании через него импульса тока;
- уровень защиты. Это значение остающегося напряжения при протекании через варистор ограничителя номинального импульсного тока разряда;
- время срабатывания оксидно-цинковых варисторов обычно не превышает 25 нс.

Помимо неверного выбора мест установки и характеристик ОПН еще одной причиной повреждений ОПН являются используемые при их сборке варисторы низкого качества, к которым, прежде всего, относятся китайские и индийские варисторы.

Преимущества ОПН:

- простота конструкции и высокая надежность;
- по сравнению с разрядниками, более глубокое ограничение перенапряжения;
- стойкость к внешнему загрязнению изоляционного корпуса;
- способность ограничивать внутренние перенапряжения;
- большая взрывобезопасность у ограничителей перенапряжения с полимерным корпусом;
- меньшие габариты и масса, чем у разрядников;
- могут использоваться в сетях постоянного тока.

Литература

1. Дмитриев, М.В. Параметры ограничителей перенапряжения / М.В. Дмитриев. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 205 с.
2. Поляков, В.С. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений / В.С. Поляков. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 272 с.
3. Дмитриев, М.В. Применение ОПН в электрических сетях / М.В. Дмитриев. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 311 с.

УДК 621.3

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Максименко С.Ю., Пристромова К.С.
Научный руководитель – Андрукевич А.П.

Программных решений, реализующих BIM моделирование в строительстве множество. Они могут быть платными и бесплатными, многие позволяют облачное хранение BIM модели и удаленный доступ. Наиболее востребованные среди них:

AUTODESK REVIT. Просто и эффективно обеспечивает проектирование архитектурных решений, инженерных сетей и строительных конструкций. Востребован при планировании, проектировании, строительстве, эксплуатации объектов и их инфраструктуры. Программа поддерживает межотраслевое проектирование для командной работы. Импортирует, экспортирует и связывает данные в нескольких форматах (включая IFC, DWG и DGN).

Для совместного моделирования применяется Revit Server, организующий общее информационное пространство для сотрудничества с инвесторами, подрядчиками, заказчиками.

ARCHICAD. Использует для моделирования здания технологии Virtual Building™. Обладает набором универсальных инструментов для моделирования, создания рабочей документации, поддерживает функции импорта, экспорта, визуализацию. Дает возможность выполнения задач единолично или в коллективе, обмениваясь данными со смежниками.

Tekla Structures. Продукт используется для работы с металлоконструкциями в масштабных проектах. Обеспечивает коллективную работу, информационный обмен и взаимодействие десятков компаний. Дает возможность контроля над рабочими процессами, поддерживает автоматизацию конструирования.

Tekla BIMsigh. Бесплатный профессиональный софт для организации коллективного моделирования строительным объектом. Повышение качества проектных работ достигается: объединением информационных моделей объекта, созданных специалистами разных специальностей, отслеживания несоответствий между элементами проекта, обеспечением эффективного взаимодействия участников.

MagiCAD. Инструмент основан на платформах AutoCAD и Revit, использует модульный подход к проектированию. Отличается созданием высокого уровня автоматизации проектирования внутренних инженерных систем. Применяется при построении пространственных моделей, создания спецификаций, проведении инженерных расчетов, составлении отчетных документов. Обладает отличной базой данных для построения инженерных сетей с техническими характеристиками и набором параметров.

AutoCAD Civil 3D. Продукт применяется при проектировании и выпуске документации для объектов инфраструктуры. Поддерживает функции визуализации и анализа. Возможность совместной работы координирует

взаимодействие участников и решает вопросы, связанные с рабочими моментами при проектировании инфраструктуры.

Allplan. Востребован для решения задач по проектированию конструкций из железобетона. Является BIM-платформой. Рассчитывает планы объекта с учетом временных затрат, цен и качества.

GRAPHISOFT. BIM-сервер. Необходим для поддержки Teamwork, дающей одновременный доступ к проекту группе клиентов. Использует сетевое подключение для нескольких ARCHICAD, являющихся клиентами для этой системы. Позволяет совместно работать над файлами больших объемов. Основное достоинство этого серверного приложения – возможность запроса, выполнение слияния, фильтрация данных BIM.

Renga Architecture. Он удобен в работе, содержит функцию использования инструментов в трехмерном измерении. Являет собой единую платформу для конструкторов и архитекторов. Обладает широкими возможностями по экспорту, импорту данных в различные форматы. Программа сохраняет полученные данные в форматах .ifc, .dxf, давая возможность применять двухмерные и трехмерные результаты на всех этапах совместной работы над проектом.

УДК 621.31

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Мешкова А.Н., Арутюнов М.А.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климкович П.И.

В данной работе продемонстрируем возможности использования 3D-моделирования в электротехнике на примере электрической цепи трехфазного переменного синусоидального тока (рисунок 1), приведем процесс создания таких моделей и сделаем вывод о целесообразности их применения.

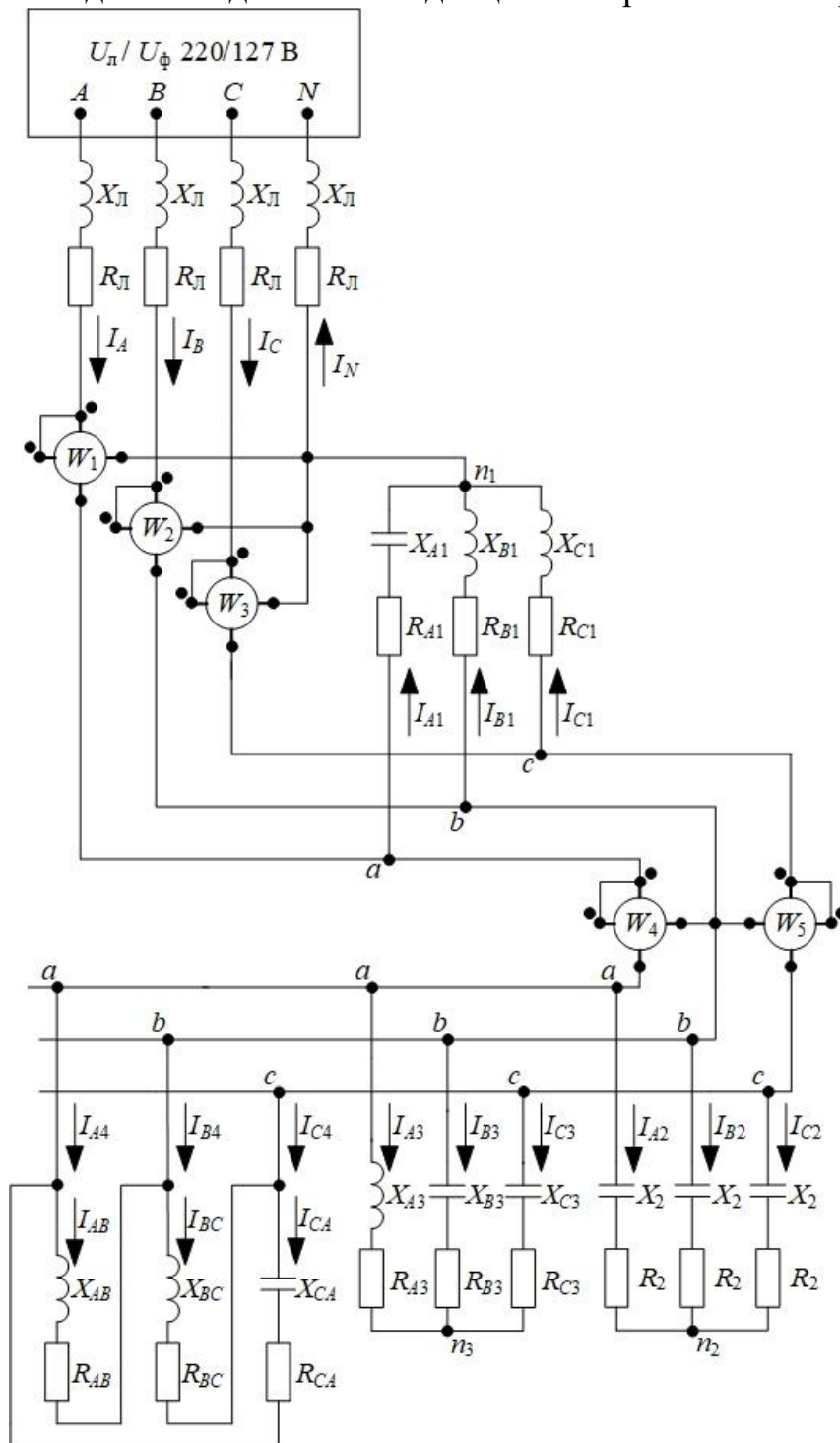


Рисунок 1 – Схема трёхфазной цепи

Что из себя представляет трёхфазная система и отметим её преимущества. Трёхфазная система состоит из трех электрических цепей или электрических схем (фаз), параметры режима (напряжение и ток) в которых сдвинуты во времени на 120° [1]. Отдельные фазы трехфазной системы согласно ГОСТ обозначаются (именуются) заглавными латинскими буквами *A*, *B* и *C* (основное обозначение), или цифрами 1, 2 и 3 (допустимое обозначение), или заглавными латинскими буквами *R*, *S* и *T* (международное обозначение). Не имеет значения, какую из трех фаз именовать какой буквой *A*, *B* или *C*, существенным является их порядок следования друг за другом во времени. Прямым порядком следования фаз называется *A-B-C-A*, при котором параметры режима (напряжение и ток) в фазе *B* отстают от аналогичных параметров в фазе *A* на 120° , а в фазе *C* – опережают на 120° . При обратном порядке следования фаз *A-C-B-A* параметры режима в фазе *C* отстают от аналогичных параметров в фазе *A* на 120° , а в фазе *B* – опережают на 120° .

Если отдельные фазы системы работают изолировано и независимо друг от друга, то система называется несвязанной.

Основное свойство любых переменных функций в симметричной трехфазной системе состоит в том, что сумма их мгновенных значений в любой момент времени равна нулю.

Именно трехфазная система в электроэнергетике получила наибольшее распространение, так как она обладает рядом преимуществ перед системами с другим числом фаз. Перечислим ее достоинства:

– Передача энергии от генератора к потребителям трехфазным током наиболее выгодна экономически, чем при любом другом числе фаз. Например, по сравнению с двухпроводной системой достигается экономия проводов в два раза, соответственно уменьшаются потери энергии в проводах линии.

– Трёхфазная система позволяет технически просто получить круговое вращающееся поле, которое лежит в основе работы всех трехфазных машин (генераторов и двигателей).

– Элементы трехфазной системы (генераторы, трансформаторы, двигатели) просты по конструкции, надежны в работе, имеют хорошие массогабаритные показатели, сравнительно дешевы, долговечны.

– На выходе трехфазных генераторов имеется два уровня выходного напряжения – линейное и фазное, что позволяет подключать к такому генератору приемники с различными номинальными напряжениями.

Благодаря своим достоинствам трехфазная система применяется в электроэнергетике для производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Продемонстрируем переход от 2D к 3D на примере электрической цепи трёхфазного переменного синусоидального тока, рассчитанной при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники» (рисунок 1). Используя систему трехмерного проектирования КОМПАС-3D и применяя объемное отображение условно-графических элементов, соберём 3D-модель данной цепи (рисунок 2).

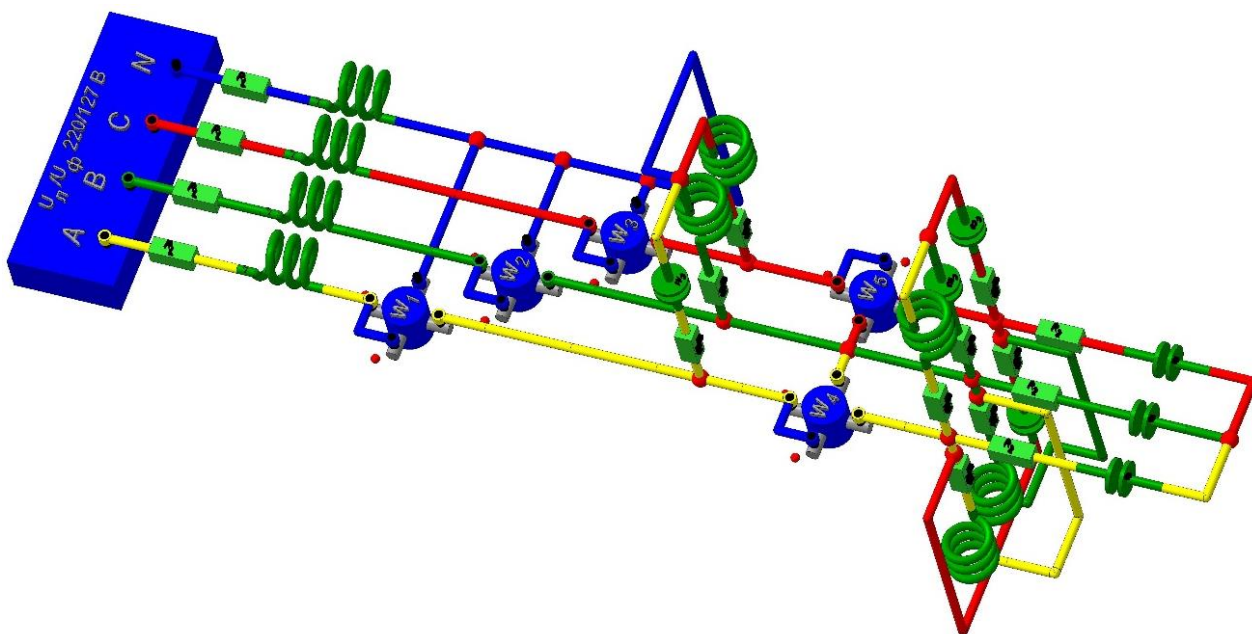


Рисунок 2 – 3D-модель трёхфазной цепи

Для оценки габаритов данной электрической цепи и приближения к действительности произведём замену условно-графических изображений реальных изделий (резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы) их 3D-моделями. В качестве источника трехфазного переменного синусоидального тока используем трёхфазную розетку (рисунок 3), а для подключения потребителей электрической энергии – трехфазную вилку (рисунок 4). Для измерений мощности в цепи воспользуемся 3D-моделью ваттметра (рисунок 5).

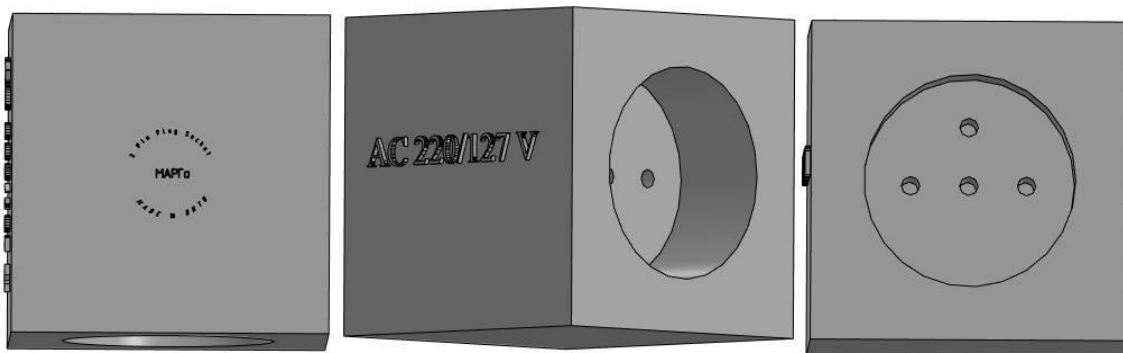


Рисунок 3 – 3D-модель трёхфазной розетки

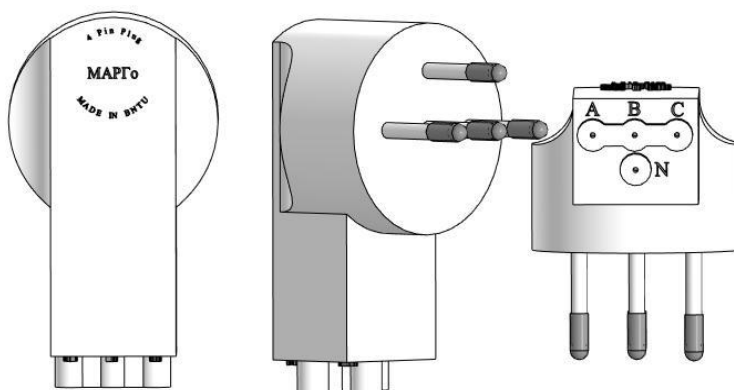


Рисунок 4 – 3D-модель трёхфазной вилки

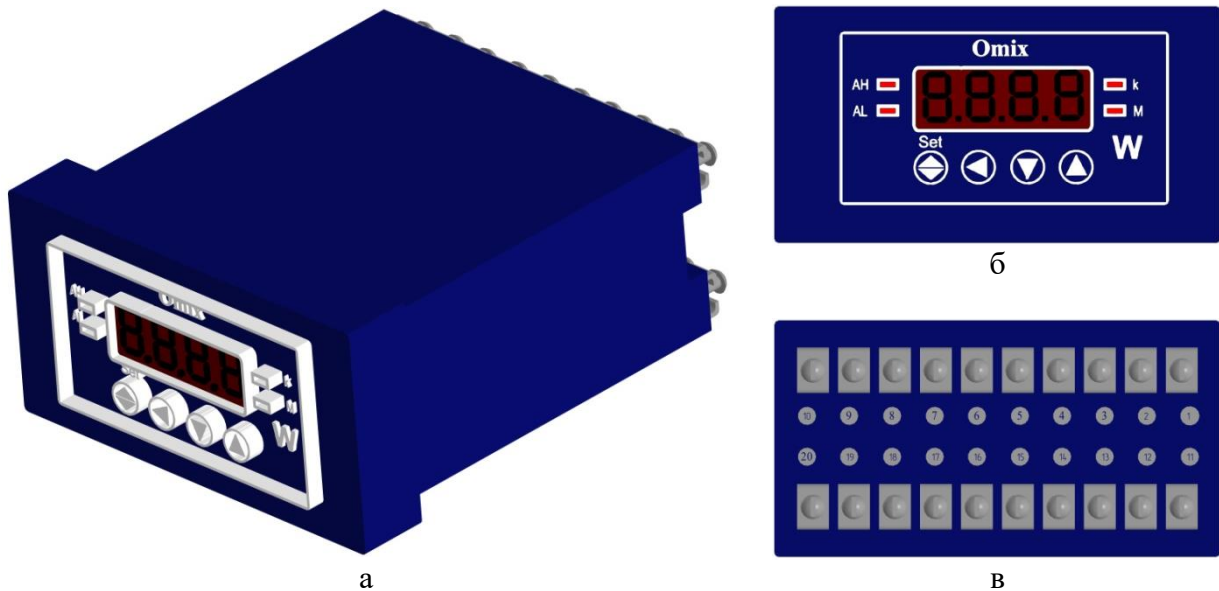


Рисунок 5 – 3D-модель ваттметра:
а – внешний вид; б – лицевая панель; в – задняя панель

На рисунках 6 и 7 представлена схема электрической цепи (рисунок 1), собранная с использованием 3D-моделей реальных электротехнических изделий и приборов.

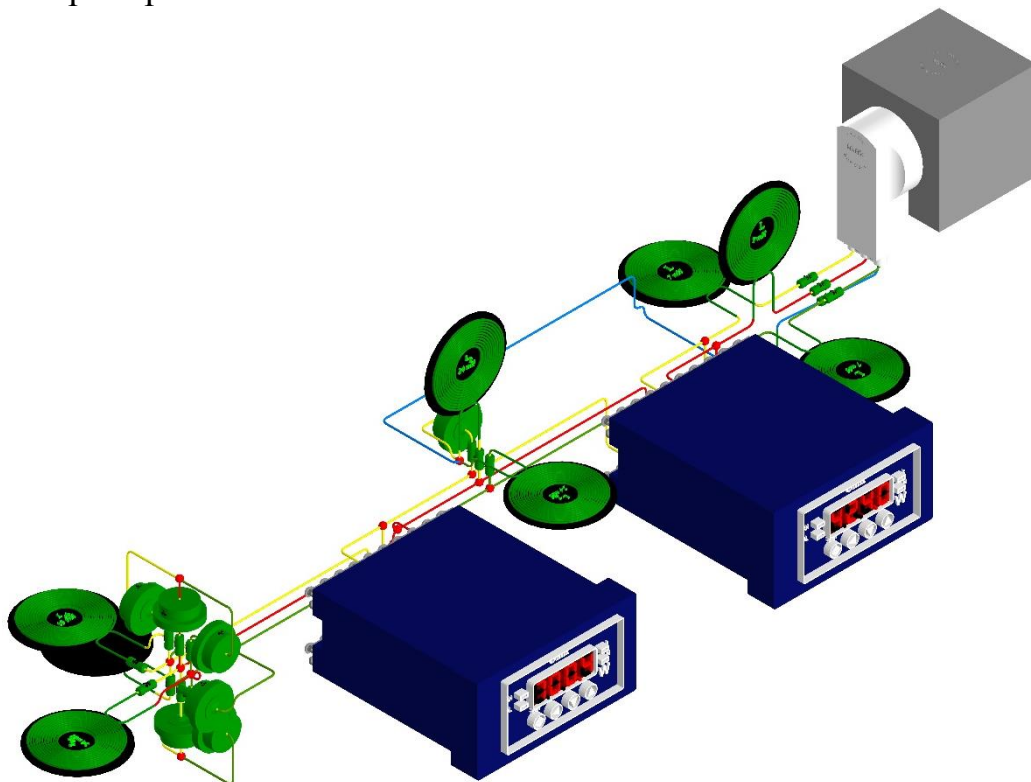
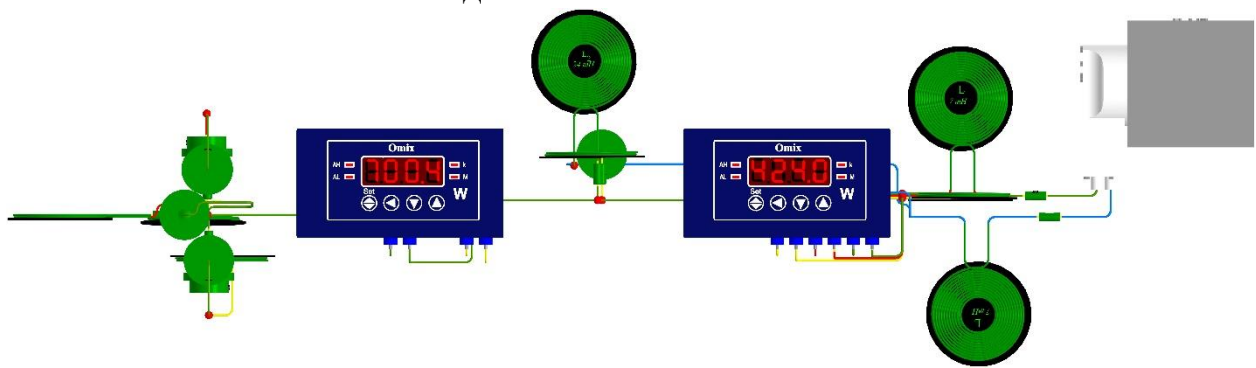


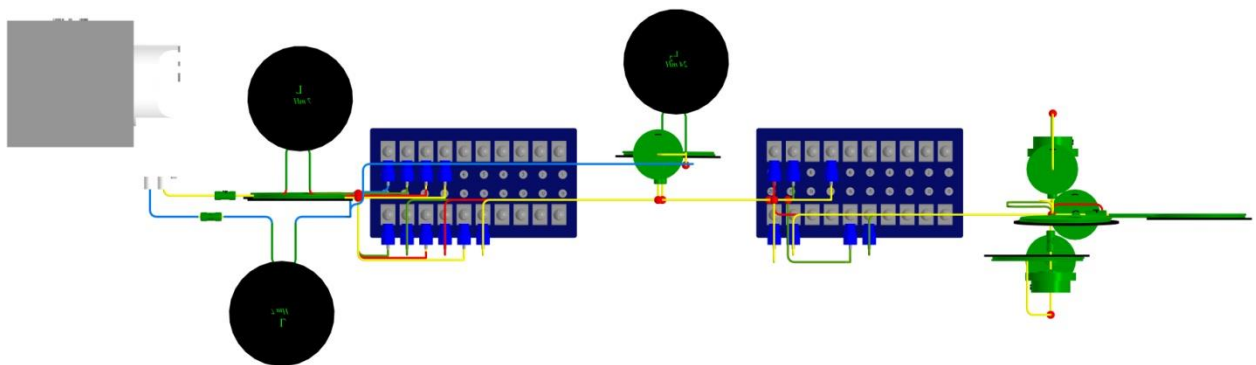
Рисунок 6 – 3D-модель трёхфазной цепи (вид сверху)

Такое представление схем наиболее информативно, зрелищно и наглядно. Используя 3D-модели реальных изделий есть возможность получить всю необходимую информацию об электрической цепи (размеры, номиналы элементов, их вид), привести её к самому удобному для восприятия виду, максимально приблизить её к реальности. 3D-моделирование – мощный

инструмент, который даёт возможность быстро и легко осуществлять поиск поставленных технических задач.



а



б

Рисунок 7 – 3D-модель трёхфазной цепи: а – вид спереди; б – вид сзади

Литература

1. Мазуренко, А.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / А.А. Мазуренко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.

УДК 621.316.9

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Касьянович М.А.

Научный руководитель – Сапожникова А.Г.

Умные сети электроснабжения (англ. smart-grid) – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационно-коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Радикальная трансформация энергосистем под влиянием Интернета вещей (IoT) сегодня происходит в США, ЕС, Китае. В разделе анализируются процессы цифровизации энергосистем, а также выделяются белорусские перспективы. По данным Bloomberg New Energy Finance общемировые инвестиции в умные сети достигли к 2014 г. 14,9 млрд. долл. В США с 2007 г. после крупной аварии в энергосетях создание умных сетей (smart-grid) стало одним из приоритетных национальных проектов. Крупные инвестиции на развитие умных сетей производятся в Китае, в странах ЕС, Японии, Бразилии, России, где модернизация и развитие умных сетей, децентрализованная генерация закреплены в качестве приоритетов в «Энергетической стратегии России на период до 2035 года».

Технология умных сетей подразумевает объединение электрических сетей потребителей и производителей энергии в единую систему, которая в реальном времени позволяет отслеживать, контролировать и управлять режимами работы всех ее участников. Для умных энергосетей характерны следующие положения:

- интеграция энергетических и информационных сетей;
- совершенствование управления электропотреблением в сфере конечного потребления;
- развитие энергосбережения, в том числе в коммунальном секторе;
- создание технологий автономного и мобильного энергоснабжения;
- образование сервисных компаний и, как следствие, смещение центра формирования прибыли от эксплуатации ресурсов к созданию новых энергетических технологий;
- быстрый рост эффективного энергопотребления (полезной работы, выполняемой за счет потребления энергии) благодаря переходу к более качественному использованию различных видов энергии.

Одна из главных целей технологии умных сетей заключается в применении малых источников энергии, в первую очередь ВИЭ, которые являются гораздо менее стабильными, чем установки на ископаемом топливе. И требуют более сложных систем регулирования и диагностики. Исходя из этого, создание умных сетей предполагает организацию трех ключевых блоков управления: управление потреблением, управление аварийными режимами, управление сетью в целом. Умные сети требуют внедрения комплекса инновационного оборудования и технологий:

- устройств, позволяющих повысить предел пропускной способности линий электропередачи;
- высоковольтных приборов быстрого регулирования напряжения;
- накопителей электроэнергии на базе мощных аккумуляторов (если в конкретный момент выработка энергии превышает потребление, умная сеть собирает ее и подпитывает сеть, когда в этом есть необходимость).

Инновационная направленность концепции умных сетей дает толчок перехода к новому технологическому укладу в электроэнергетике. Более того, умная сеть должна быть результатом активного взаимодействия государства, энергогенерирующих и распределительных компаний и потребителей, когда всем сторонам одинаково невыгодно нарушать общие правила работы внутри сети и при этом каждый участник получает свою экономическую выгоду. Комплексное осуществление мероприятий по внедрению технологий умных сетей позволит получить большой экономический эффект.

Согласно исследованию международной исследовательской группы «Gartner», в числе 10 основных IT-трендов в энергетике (трендов умных сетей) следующие:

- инфраструктура интеллектуальных счетчиков (Advanced Metering Infrastructure);
- единое управление информацией в масштабах всей энергосети.

В целом, сектор электроэнергетики вступает в этап активной цифровой трансформации, аналогично тому, который ранее прошли сектор телекоммуникаций и банковская сфера. Речь идет о биллинговых системах и программно-аппаратных решениях для обеспечения бесперебойности и безопасности технологических процессов.

Традиционная энергетика породила сложную инфраструктуру, состоящую из генерирующих станций, систем передачи и распределения тепловой и электрической энергии, систем оперативно-диспетчерского управления. Возрастающее применение ВИЭ будут менять эту инфраструктуру, приводить к ее частичной децентрализации и требовать все большей информатизации отрасли, перестраивающей ее в умную энергосеть.

Энергосистема Беларуси осуществляет перестройку организации генерации и распределения, обусловленную развитием технологий путем применения ВИЭ и внедрения умных систем управления энергосистемами.

Интеграция ядерной и альтернативной с минимальным участием углеводородной энергетики в умные энергосберегающие сети императив белорусской энергетической политики.

Понятие энергетическая стратегия страны означает комплексную программу согласованных мероприятий, нацеленную на достижение поставленных государством приоритетных целей. Под энергетической стратегией страны понимается документ, в котором сформулированы и конкретизированы цели и задачи развития энергетического сектора страны на средне- и долгосрочный периоды. При этом должны быть определены: приоритеты, ориентиры и механизмы государственной энергетической

политики; факторы развития энергетического сектора; а также приведен анализ текущего состояния и мировых тенденций развития энергетики.

Главная цель энергетической стратегии Беларуси, согласно государственным актам, является создание устойчивой и способной к саморегулированию системы обеспечения энергетической безопасности с учетом оптимизации территориальной структуры производства и потребления топливно-энергетических ресурсов.

Стратегической целью развития топливно-энергетического комплекса Беларуси является удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимально эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду. На достижение этой целью направлена Государственная программа «Энергосбережение» на 2016–2020 годы, утвержденная Постановлением Совета Министров от 28 марта 2016 года № 248. Целевые показатели – понижение энергоемкости ВВП к 2021 году на 2 % к уровню 2015 года и достижение объема производства первичной энергии к потреблению ТЭР не менее 16 %.

Решающую роль в успешном решении всех вопросов энергетики (удовлетворение растущего спроса, увеличение объемов поставок, улучшение состояния окружающей среды и др.) будут играть инновационные технологии, посредством которых с течением времени люди во всем мире будут расходовать энергию все более эффективно (благодаря снижающейся энергоемкости домов, автомобилей, электроприборов и предприятий). Достижения в области энергоэффективности сохранят большое значение в общемировом масштабе.

Республика Беларусь на данный момент уже имеет опыт внедрения технологий smart-grid. А на её внутреннем рынке существует определённая ниша компаний, предлагающих smart-grid решения, как для новых реализуемых проектов, так и для модернизации уже существующих.

УДК 621.316.9

ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ ОТ НАБЕГАЮЩИХ ВОЛН ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Козловский А.Ю.

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

Защита высоковольтного оборудования подстанций (ПС) от грозовых перенапряжений осуществляется:

- от прямых ударов молнии – стержневыми и тросовыми молниеотводами;
- от набегающих волн с отходящих линий – молниеотводами (от прямых ударов молнии на определенной длине этих линий) и защитными аппаратами, устанавливаемыми на подходах и в распределительных устройствах, к которым относятся разрядники вентильные (РВ), ОПН, разрядники трубчатые (РТ) и защитные искровые промежутки.

Волны, набегающие с линии на подстанцию, возникают при прямых ударах в провода линии без тросов, при обратных перекрытиях с троса или опоры или прорывах молнии мимо троса линии с тросами. Максимальные значения волн, набегающих на подстанцию, не могут превышать разрядного напряжения изоляции линии относительно земли. Действительно, если на линии возникнет волна с более высоким максимальным значением, то она при своем распространении по линии будет вызывать перекрытие изоляции опор до тех пор, пока заземления опор, на которых произошло перекрытие, не снизят максимальное значение волны до разрядного напряжения линейной изоляции.

Уровень подстанционной изоляции ниже уровня изоляции линии, что обусловлено экономическими соображениями. Поэтому набегающие волны представляют опасность для изоляции подстанционного оборудования и их максимальное значение должно быть ограничено.

В результате перекрытия внешней изоляции возникает так называемый срез, т. е., практически мгновенный спад напряжения до нуля, являющийся причиной больших градиентных перенапряжений в обмотках трансформаторов, вызывающих в неблагоприятных случаях повреждение продольной изоляции. Пробой внутренней изоляции в отличие от перекрытия внешней – это в большинстве случаев необратимый процесс, приводящий к выходу из строя аппарата в целом.

Основной элемент ОПН – варистор. Основная активная часть ОПН состоит из набора варисторов, соединённых последовательно и составляющих так называемую «колонку». В зависимости от требуемых характеристик ОПН и его конструкции ограничитель может состоять из одной колонки или из ряда колонок, соединённых последовательно либо параллельно. Отличие материала варисторов ОПН от материала резисторов вентильных разрядников состоит в том, что у нелинейных резисторов ограничителей перенапряжения присутствует повышенная пропускная способность, а также высоконелинейная вольт-амперная характеристика (ВАХ), благодаря которой возможно непрерывное и безопасное нахождение ОПН под напряжением, при котором

обеспечивается высокий уровень защиты электрооборудования. Данные качества позволили исключить из конструкции ОПН искровые промежутки.

Материал нелинейных резисторов ОПН состоит в основном из оксида (окиси) цинка (ZnO) и оболочки в виде глифталевой эмали, повышающей пропускную способность варистора. В процессе изготовления оксид цинка смешивается с оксидами других металлов. Варисторы на основе оксида цинка являются системой, состоящей из последовательно и параллельно включённых $p-n$ переходов. Именно эти $p-n$ переходы определяют нелинейность ВАХ варистора.

ОПН конструктивно представляет собой колонку варисторов, заключённых в высокопрочный полимерный корпус из высокомолекулярного каучука (в случае полимерной изоляции прибора), либо колонку варисторов, прижатую к боковой поверхности стеклопластиковой трубы, расположенной внутри фарфора (в случае фарфоровой изоляции). В ОПН с полимерной изоляцией пространство между стеклопластиковой трубой и колонкой варисторов заполняется низкомолекулярным каучуком, а сама труба имеет расчётное количество отверстий для обеспечения взрывобезопасности конструкции при прохождении токов короткого замыкания. У ограничителей перенапряжений с фарфоровой изоляцией на торцевых сторонах покрывки располагают мембраны и герметизирующие резиновые уплотнительные кольца, а на фланцах устанавливают специальные крышки с выхлопными отверстиями. На крышке ограничителя перенапряжений имеется контактный болт для подключения к токоведущей шине. ОПН снабжён изолированной от земли плитой основания. Внутренняя стеклопластиковая труба, мембраны и крышки обеспечивают взрывобезопасность конструкции при прохождении токов короткого замыкания.

Здания ЗРУ и ПС следует защищать от прямых ударов молнии в районах с числом грозových часов в году более 20. При установке стержневых молниеотводов на защищаемом здании от каждого молниеотвода прокладываются не менее двух токоотводов по противоположным сторонам здания.

РУ 3–20 кВ, к которым присоединены ВЛ, должны быть защищены РВ или ОПН, установленными на шинах или у трансформаторов. РВ или ОПН в одной ячейке с ТН должен быть присоединен до предохранителя ТН.

На подходах к подстанциям ВЛ 3–20 кВ с металлическими и железобетонными опорами установка защитных аппаратов не требуется. Однако при применении на ВЛ 3–20 кВ изоляции, усиленной более чем на 30 % (например, из-за загрязнения атмосферы), на расстоянии 200–300 м от ПС и на ее вводе должны быть установлены защитные искровые промежутки.

Необходимость установки ОПН для защиты оборудования в ячейках линий 330–750 кВ для ограничения коммутационных перенапряжений определяется расчетом и уровнем испытательных напряжений защищаемого оборудования.

Для линий 330 и 500 кВ длиной до 50 км установка ОПН не требуется.

Защитные аппараты от перенапряжений устанавливаются:

– в цепи трансформатора (автотрансформатора);

- на шинах РУ ПС;
- у шунтирующих реакторов.

ОПН устанавливается для защиты трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов в цепи их присоединений до выключателя.

УДК 621.311

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ
В СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС**

Мангул Д.И.

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

Опыт эксплуатации электрических сетей 6–10 кВ показывает, что им свойственна весьма высокая аварийность, и что значительная часть (до 90 %) нарушений нормальной работы этих сетей обусловлена повреждениями изоляции относительно земли, которые приводят к возникновению однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

В настоящее время в условиях постоянного ухудшения состояния изоляции электрооборудования систем электроснабжения собственных нужд ТЭС, изображенных на рисунке 1, из-за отсутствия средств на замену и качественное восстановление изношенного электрооборудования актуальность этой проблемы еще больше возрастает. Поскольку надёжные средства защиты от дуговых перенапряжений отсутствуют, то успешное решение проблемы может быть найдено только в оптимизации режимов нейтрали сетей собственных нужд в сочетании с различными схемными решениями.

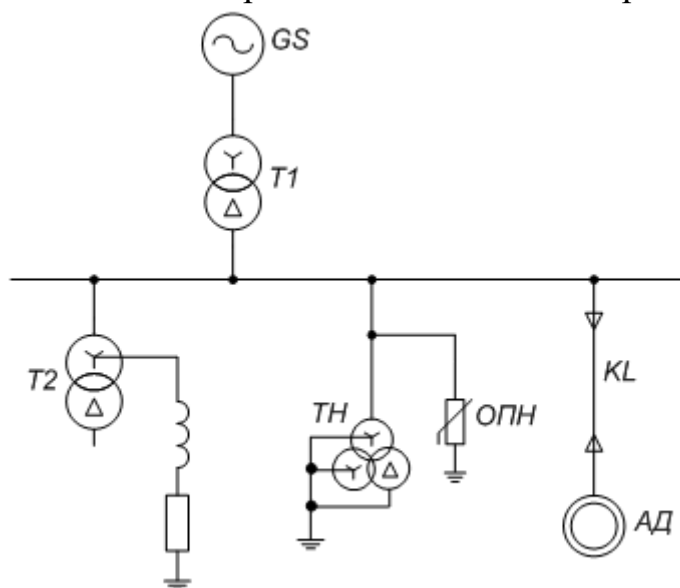


Рисунок 1 – Схема электроснабжения собственных нужд ТЭС

В настоящее время в сетях напряжением 6–10 кВ всё чаще применяется резистивное заземление нейтрали – заземление нейтрали через активное сопротивление (рисунок 2а). Возможны и варианты включения резистора, когда нейтраль заземляющего трансформатора наглухо присоединяется к контуру заземления, а резистор включается во вторичную обмотку, собранную в разомкнутый треугольник (рисунок 2б), либо используется однообмоточный трансформатор (фильтр нулевой последовательности) с соединением обмотки ВН в зигзаг (рисунок 2в).

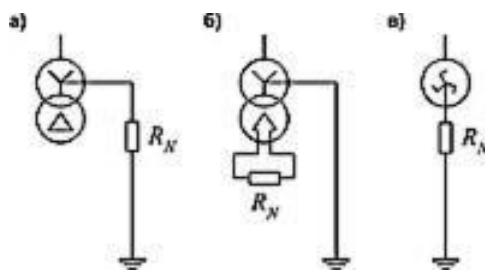


Рисунок 2 – Варианты включения резистора в нейтраль сети 6–10 кВ

При однофазных замыканиях на землю в сетях с заземлённой через резистор нейтралью во всех присоединениях протекают собственные ёмкостные токи, а в повреждённом присоединении, кроме того, протекает активный ток, создаваемый резистором. Это позволяет решить две важные задачи:

- селективно определить повреждённое присоединение (за счёт простых релейных защит, действующих на отключение или на сигнал) и незамедлительно принять меры по устранению повреждения;
- существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы.

Применяются три варианта заземления нейтрали сетей 6–10 кВ через резистор:

- низкоомное,
- высокоомное
- комбинированное.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда ОЗЗ должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение. В этом случае преимущество сети с изолированной нейтралью полностью исчезает, так как при ОЗЗ потребитель теряет питание по данной линии. Однако такой режим необходим там, где при ОЗЗ может возникнуть опасность для людей при падении провода ЛЭП на землю – люди могут попасть под шаговое напряжение или напряжение прикосновения.

Низкоомное заземление нейтрали с возможностью отключения поврежденных участков сети целесообразно применять в тех сетях, где обеспечена необходимая степень резервирования и автоматизации распределительных электрических сетей, систем электроснабжения и технологических процессов. В чисто кабельных сетях с высокой степенью резервирования экономически и технически выгодно перейти от компенсированной системы заземления нейтрали (с применением ДГР) к нейтрали, заземлённой через низкоомный резистор, с отключением поврежденного присоединения без выдержки времени.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали целесообразно применять в тех случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме ОЗЗ до обнаружения места ОЗЗ. При этом ток в нейтрали должен быть

такой величины, чтобы исключить появление опасных дуговых перенапряжений и снижение электробезопасности, но быть достаточным для определения повреждённого присоединения и работы релейной защиты на сигнал.

Защита от внутренних перенапряжений, и в частности от феррорезонансных перенапряжений при неполнофазных режимах питания понижающих трансформаторов и электродвигателей, требует применения устройств, способных потребить энергию, запасённую элементами сети в их ёмкости и индуктивности. В зависимости от параметров сети эта энергия может составлять десятки кВт в течение нескольких десятков секунд. Таким устройством, решающим задачу комплексной защиты сети с изолированной нейтралью от всех видов внутренних перенапряжений, является устройство заземления нейтрали сети через высокоомное активное сопротивление. Величина такого сопротивления оптимизируется по признакам необходимости и достаточности. Для подавления феррорезонансных перенапряжений величина резистора должна быть не менее величины критического сопротивления для контура схемы замещения сети.

В сетях 10 кВ высокоомный резистор подключают к нейтрали одного из питающих трансформаторов, имеющих соединённую в «звезду» обмотку 10 кВ с выведенной нейтралью. В этом случае не требуется никаких изменений в работе устройств РЗА. Высокоомный резистор может быть собран из элементов, используемых в качестве шунтирующих резисторов на выключателях типа ВВН или ВВ 220 и 330 кВ. Сопротивление одного резистора 15 кОм, длительная мощность 1,5 кВт. Минимальное число последовательно включённых элементов четыре, а суммарное сопротивление такого резистора 60 кОм.

Для подключения высокоомного резистора к нейтрали сети 6–10 кВ необходим заземляющий трансформатор с соединением обмоток «звезда с выведенной нейтралью – треугольник» мощностью 40 кВА. Величина сопротивления резистора определяется исходя из ёмкости сети, а его мощность – из допустимого времени воздействия напряжения сети при однофазном замыкании на землю. Для устройств заземления нейтрали через высокоомное сопротивление предпочтительны проволочные резисторы, так как они допускают большие нагрузки и более надёжны в эксплуатации.

Для подключения заземляющего трансформатора с резистором в нейтрали необходима отдельная ячейка с собственными устройствами РЗА. Схема подключения устройства к сети с изолированной нейтралью приведена на рисунке 3.

Однако внедрение такой системы защиты возможно только в сетях, имеющих защитное отключение от однофазного замыкания на землю. Кроме того, заземление нейтрали с суммарным сопротивлением 100 Ом создаёт в сети 6 кВ активный ток 30 А в месте замыкания на землю. Это значительно больше, чем необходимо для подавления перенапряжений, и приводит к увеличению объёма разрушений в месте замыкания от дуги такой величины.

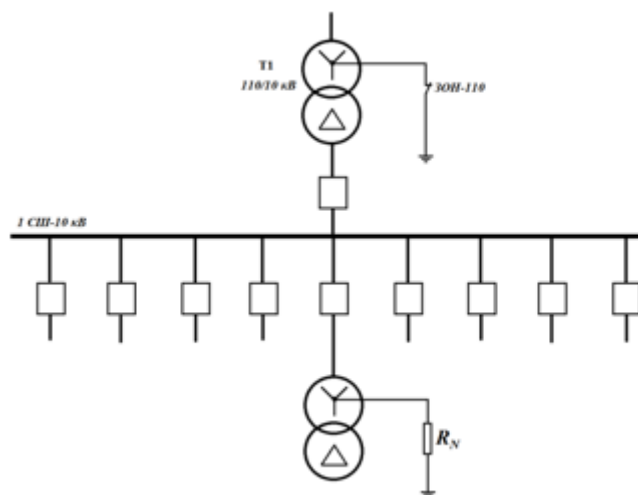


Рисунок 3 – Защита сети 10 кВ от перенапряжений подключением резистора к нейтрали сети

Эти недостатки исключены при заземлении нейтрали сети через высокоомный резистор, выбранный из величины ёмкости сети. Высокоомный резистор в нейтрали системы обеспечивает стекание заряда нулевой последовательности за время T между ближайшими замыканиями составляющее полупериод промышленной частоты ($T = 0,01$ с).

Резистор, выбранный из этого условия, создает в месте повреждения активную составляющую тока, равную емкостной. При чисто ёмкостной цепи замыкания на землю резистор, выбранный таким образом, увеличивает ток замыкания в $\sqrt{2}$ раз.

Важной особенностью применения высокоомного сопротивления в нейтрали по сравнению с компенсацией является то, что при уменьшении ёмкости сети постоянная времени стекания свободного заряда через выбранный по приведённым условиям резистор, уменьшается, и, следовательно, эффект ограничения перенапряжения не изменяется. Если же постоянная времени увеличивается, что бывает довольно редко, то в диапазоне изменения её на 20–30 % кратность перенапряжений достигает не более $2,5 U_{\phi}$.

После подключения к нейтрали резистора феррорезонансные явления практически прекращаются. Высокоомные резисторы, уменьшающие уровни перенапряжений и время их воздействия, необходимо устанавливать на ПС, питающих преимущественно воздушную сеть и не имеющих высокой степени резервирования.

Комбинированное заземление нейтрали осуществляется путём присоединения высокоомного резистора параллельно ДГР и позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке ДГР, а также способствует работе на сигнал релейных защит.

В заключение следует отметить, что режим заземления нейтрали в сети среднего напряжения должен выбираться в каждом конкретном случае с учётом следующих факторов:

- уровня ёмкостного тока сети;

- допустимого тока однофазного замыкания, исходя из разрушений в месте повреждения;
- безопасности персонала и посторонних лиц;
- допустимости отключения однофазных замыканий с позиций непрерывности технологического цикла;
- наличия резерва;
- типа и характеристик используемых защит.

Литература

1. Беляков, Н.Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6 и 10 кВ с изолированной нейтралью / Н.Н. Беляков // Электричество. – 1957. – № 5. – С. 31–36.
2. Правила устройства электроустановок. – Минск : УП «ДИЭКОС», 2003. – 632 с.
3. Короткевич, М.А. Режимы нейтрали городской электрической сети / М.А. Короткевич, Д.Л. Жив. – Минск : БелНИИагроэнерго, 1997. – 68 с.
4. Сарин, Л.И. Опыт применения резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ / Л.И. Сарин, А.И. Ширковец, М.В. Ильиных // Энергетик. – 2009. – № 4. – С. 13–14.
5. Емельянов, Н.И. Актуальные вопросы применения резистивного и комбинированного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ / Н.И. Емельянов, А.И. Ширковец // Энергоэксперт. – 2010. – № 2. – С. 44–50.

УДК 621.311

РЕКЛОУЗЕРЫ

Баран Ю.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

Реклоузер – устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора. Помимо защитных и противоаварийных функций защиты воздушных линий передач дополнительно могут выполнять функции мониторинга и учёта характеристик и параметров электросетей. В рамках общей классификации устройств энергетики реклоузеры относятся к КРУН (комплектным распределительным устройствам наружной установки).

Конструктивно реклоузер состоит из трех основных элементов:

– Быстродействующего вакуумного выключателя со временем срабатывания менее 0,1 с (что принципиально для быстрого отключения линии в случае аварийной ситуации, например, короткого замыкания).

– Датчиков тока и напряжения, регистрирующих параметры линии. В качестве таких датчиков длительное время выступали трансформаторы тока и напряжения, однако в последние годы постепенно на смену им приходят комбинированные преобразователи тока и напряжения – датчики Роговского.

– Устройства релейной (РЗА) или микропроцессорной (МПЗ) защиты, которая, получая данные от датчиков тока и напряжения, выдает вакуумному выключателю команду на включение/отключение в зависимости от сложившейся ситуации.

По сути реклоузер является автоматическим выключателем, который размыкает линию при отклонении ее параметров от заданных, например, при превышении током порогового значения. В этом смысле реклоузер является прямым родственником автоматических выключателей, установленных подъездах жилых домов, с той только разницей, что его рабочее напряжение не 220 В, а 10 кВ или даже 35 кВ.

Реклоузер состоит из двух частей: высоковольтного модуля (ВМ) и шкафа управления (ШУ), связанных между собой соединительным кабелем:

– реклоузеры имеют достаточно компактные размеры и устанавливаются чаще всего непосредственно на опорах ЛЭП, поэтому не нуждаются в монтаже дополнительных фундаментов и ограждений;

– не требуют обслуживания, что даёт возможность наладить стабильную работу сети без необходимости вмешательства людей. Это особенно актуально для труднодоступных или удалённых районов;

– помимо защитных функций микропроцессор реклоузера может выполнять несколько попыток восстановления передачи электроэнергии через аварийные участки, а при неудаче отправлять уведомление оператору.

Главным достоинством устройств является автономность их работы. Поэтому они не требуют участия человека после своего подключения и могут поддерживать на объекте оптимальный уровень электрического напряжения.

В случае повреждения определенного участка линии электропередач оборудование автоматически отключает его и распределяет нагрузку по функционирующим линиям. Благодаря данной функции можно избежать серьезных аварий, вследствие которых потребители – как частные, так и коммерческие, могут остаться без электроснабжения.

Примечательно и то, что подключение потребителей к другим электросетям выполняется максимально оперативно – от одной секунды до минуты. Это позволяет обезопасить работающее оборудование или бытовую технику от перебоев и замыканий.

Литература

1. Nojapower [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <https://www.nojapower.ru/press/2020/noja-power.html>. – Дата доступа : 12.04.2020.
2. PUE8 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/652-reklouzery-primeneniye-dostoinstva-i-nedostatki-raznovidnosti.html>. – Дата доступа : 12.04.2020.
3. ТМ Энергия [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <https://tmnrg.ru/manual--reklouzery>. – Дата доступа : 12.04.2020.
4. Гуревич, В.И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд. / В.И. Гуревич // Мир техники и технологий. – 2006. – № 2. – С. 8–11.
5. Дьяков, А.Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж) / В.Х. Ишкин, Д.Г. Мамиконянц, В.А. Семенов // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7–16.

УДК 621.311

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПЛАГИНЕ BIM ELECTRICAL DESIGN
ОТ КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC**

Волов Р.А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – Лазарев О.Е.

В помощь проектировщикам электротехнического отдела, компания Schneider Electric разработала два плагина для программы Revit (BIMbusway и BIM Electrical Design). В плагинах используются следующие математические модели (алгоритмы), по которым производится:

- расчёт мощности в электрических цепях;
- выбор кабеля и автоматических выключателей;
- расчёт сопротивлений элементов электроустановки;
- расчёт тока трёхфазного КЗ (короткого замыкания);
- расчёт тока однофазного КЗ;
- расчёт потерь напряжения;
- балансировка нагрузок по фазам.

Рассмотрим некоторые математические модели.

Математическая модель для выбора кабеля и автоматических выключателей. Для того, чтобы произвести выбор кабеля и автоматического выключателя необходимы следующие исходные данные:

- расчётный ток цепи I_p ;
- снижающий коэффициент k_c ;
- точность срабатывания автоматического выключателя Δ_a .

Алгоритм выбора кабеля и автоматического выключателя следующий:

– определяется минимально допустимый ток автоматического выключателя по формуле:

$$I'_{a \min} = \frac{I_p}{1 - \Delta_a};$$

– выбирается автоматический выключатель, номинальный ток которого удовлетворяет условию $I_{a \min} \geq I'_{a \min}$;

– определяется по номинальному току выбранного выключателя $I_{a \min}$ необходимый допустимый длительный ток кабеля по формуле:

$$I'_d = \frac{I_{a \min}}{k_c};$$

– выбирается кабель, допустимый длительный ток которого удовлетворяет условию $I_d \geq I'_d$;

– определяется длительно допустимый ток выбранного кабеля с учётом снижающего коэффициента по формуле:

$$I_{dc} = I_d \cdot k_c;$$

– выбирается автоматический выключатель, который имеет наибольший номинальный ток в пределах по условию $I_{a \min} \leq I_a \leq I_{dc}$.

Математическая модель для расчета тока трёхфазного короткого замыкания. Расчёт тока трёхфазного короткого замыкания, поскольку по величине данного тока проверяются автоматические выключатели на отключающую способность, а также кабели по условию термической стойкости.

Для того, чтобы произвести расчет тока трёхфазного КЗ необходимы следующие исходные данные:

– номинальное фазное напряжение сети U_ϕ ;

– сопротивления всех точек электрической системы R_1, R_0, X_1, X_0 .

Алгоритм расчёта тока трёхфазного КЗ следующий:

– определяется периодическая составляющая тока трёхфазного КЗ по формуле

$$I_{\text{П0},i} = \frac{U_\phi}{\sqrt{r_{1\Sigma,i}^2 + x_{1\Sigma,i}^2}};$$

– определяется ударный ток трёхфазного КЗ по формуле:

$$i_{y,i} = \sqrt{2} I_{\text{П0},i} K_y \left(\frac{r_{1\Sigma,i}}{x_{1\Sigma,i}} \right),$$

где $K_y \left(\frac{r_{1\Sigma,i}}{x_{1\Sigma,i}} \right)$ – функция, определяющая ударный коэффициент.

Литература

1. Инструкция по использованию BIM Electrical Design v.2.0. – М.: Schneider Electric, 2020. – 57 с.

УДК 621.31

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Мешкова А.Н.

Научные руководители – к.т.н., доцент Новаш И.В., Климович П.И.

Произведем расчет переходных режимов электрических цепей с применением 3D-моделирования. Для этого разберемся с тем, что же называют переходным процессом и для чего необходим его расчёт. Переходным называется процесс, возникающий в электрической цепи при переходе ее от одного установившегося режима (старого) к другому установившемуся режиму (новому) [1]. Переходные процессы в цепи возникают в результате коммутаций. Под коммутацией понимают скачкообразные (мгновенные) изменения структуры (схемы) цепи или параметров ее отдельных элементов, вызванные включением, отключением или переключением отдельных ее участков.

В результате переходных процессов токи и напряжения на отдельных участках цепи могут значительно возрасти и превысить их значения в установившемся режиме. Расчет переходных процессов в электрических цепях является весьма важным мероприятием: результаты таких расчетов в инженерной практике используются для правильного выбора уровня изоляции токоведущих частей электроустановок и для проверки технических устройств на динамическую устойчивость.

В данной работе рассмотрим протекание переходных процессов в электрической цепи при действии постоянной и синусоидальной ЭДС для двух начальных условий: нормально замкнутым и нормально разомкнутым контактом (рисунок 1).

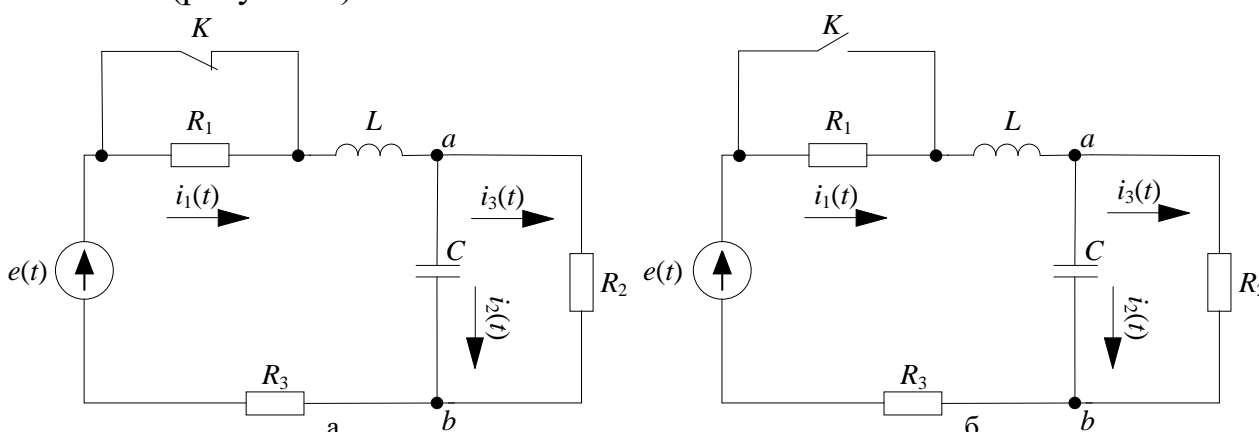


Рисунок 1 – Схема электрической цепи при нормально замкнутом (а) и нормально разомкнутом (б) контакте

Для лучшего представления об электрической цепи и протекающих в ней процессах перейдем от плоского изображения схемы к её 3D-модели, что также позволит оценить модель наглядно [3].

Отметим несколько очевидных преимуществ такого представления схем:

– трехмерная модель производит гораздо большее впечатление, чем обычный плоский 2D-чертёж, поскольку такая модель намного легче поддается восприятию;

– уже на ранней стадии моделирования можно увидеть подробные черты будущего объекта, которые, возможно, пока существуют только в форме идеи. Это позволяет доработать мысль, что-то улучшить, изменить;

– 3D-модели схем позволяют избавиться от основного недостатка 2D-чертежей: сложность представления изделий в пространстве;

– трёхмерная модель помогает быстро донести свои идеи до любого человека, не знакомого с вашим проектом. Когда перед нами имеется трехмерная модель, у нас есть возможность детально рассмотреть конструкцию и решить поставленные задачи гораздо быстрее, чем это бывало прежде.

Используя систему автоматизированного проектирования КОМПАС-3D и применяя объемное отображение условно-графических элементов, создадим 3D-модели электрической цепи (рисунок 1) для нормально замкнутого (рисунок 2а) и нормально разомкнутого контакта (рисунок 2б) при действии постоянной ЭДС.

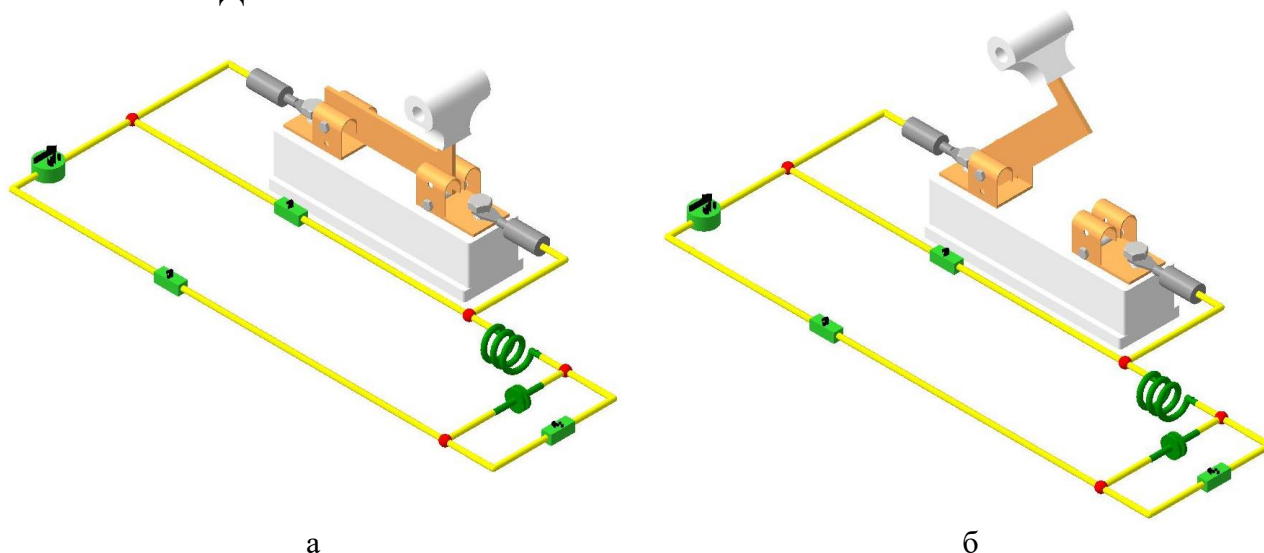


Рисунок 2 – 3D-модель электрической цепи:
а – при замкнутом контакте; б – при разомкнутом контакте

Уже на данном этапе схема воспринимается и поддается анализу намного быстрее и легче. Однако для приближения к реальным условиям заменим условно графические обозначения элементов 3D-моделями реальных изделиями: катушка индуктивности (рисунок 3), конденсатор (рисунок 4), резисторы (рисунок 5), источник питания (рисунок 6). Такой переход позволит достичь очень высокой степени детализации и даст нам наиболее полное представление о данной электрической цепи.

На рисунке 7 изображены расчетные схемы с использованием 3D-моделей реальных изделий для нормально замкнутого и нормально разомкнутого контакта при действии постоянной ЭДС. Такое представление электрической цепи позволяет нам оценить габариты схемы и получить модель, максимально приближенную к реальности.

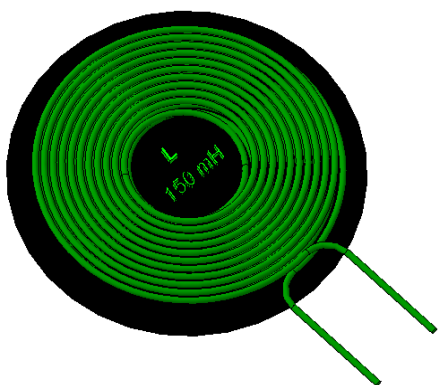


Рисунок 3 – 3D-модель катушки

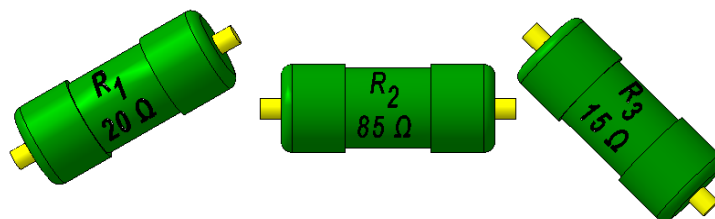


Рисунок 5 – 3D-модель резистора

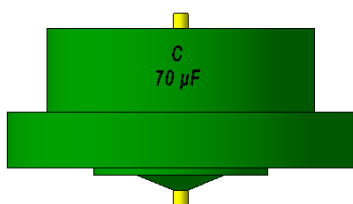


Рисунок 4 – 3D-модель конденсатора

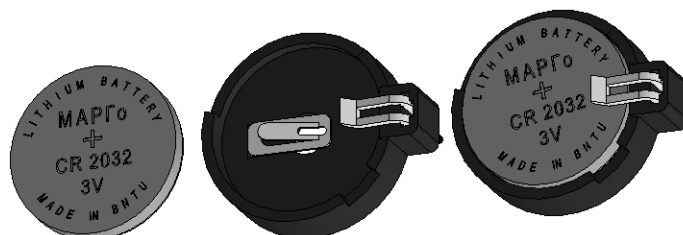


Рисунок 6 – 3D-модель источника питания

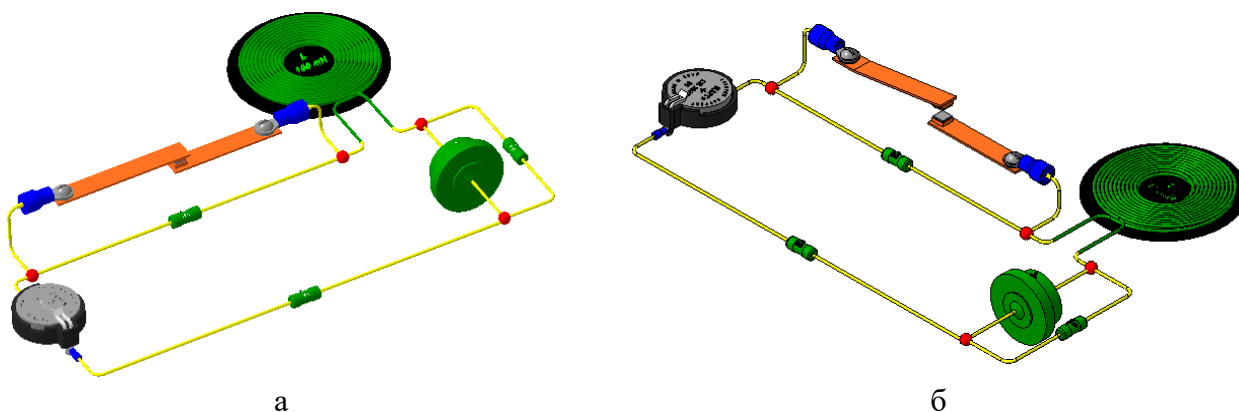


Рисунок 7 – Схема электрической цепи с 3D-моделями реальных изделий:
а – при замкнутом контакте; б – при разомкнутом контакте

Расчет переходных процессов в электрической цепи можно произвести несколькими методами: классическим (решение дифференциальных уравнений с постоянными параметрами методами классической математики), операторным (перенос расчёта переходного процесса из области функций действительной переменной в область функций комплексного переменного, в которой дифференциальные уравнения преобразуются в алгебраические), методом переменных состояний (составление и решение системы дифференциальных уравнений первого порядка, разрешенной относительно производных. Число переменных состояний равно числу независимых накопителей энергии) [4].

Для проведения расчетов может быть использовано следующее программное обеспечение: среда динамического моделирования Simulink, высокоуровневый язык программирования MatLab, среда компьютерной алгебры MathCAD.

1 Для изначально разомкнутого контакта

1.1 Независимые начальные условия: $i_1(0), U_c(0)$

$$Z := R_3 + R_2 + R_1 = 120 \quad I := \frac{E_m}{Z} = 0.025 \quad |I| = 0.025 \quad \varphi := \arg(I) = 0 \text{-deg}$$

$$U_c := I \cdot R_2 = 2.125 \quad |U_c| = 2.125 \quad i_1(t) := |I|$$

$$U_c(t) := U_c \quad U_c(0) = 2.125 \quad u(t) := |E_m|$$

1.2 Система дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i_1 \cdot (R_1 + R_3) + L \cdot \left(\frac{d}{dt} i_1 \right) + U_c = u(t)$$

$$i_2 \cdot R_2 - U_c = 0$$

$$i_3 = C \cdot \frac{d}{dt} U_c$$

1.3 Определение зависимых начальных условий

$$di_1 = \frac{i_1 \cdot R_3 - U_c + u(t)}{L} \quad dU_c = \frac{i_1 \cdot R_2 - U_c}{C \cdot R_2}$$

1.4 решим данную систему дифференциальных уравнений

$$x := \begin{pmatrix} i_1(0) \\ U_c(0) \end{pmatrix} \quad d(t, x) := \begin{bmatrix} \frac{(-x)_0 \cdot R_3 - x_1 + u(t)}{L} \\ \frac{x_0 \cdot R_2 - x_1}{R_2 \cdot C} \end{bmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(x, 0, 0.05, 1000, d) \quad I_2 := \frac{Z^{(2)}}{R_2}$$

Рисунок 8 – Численный метод расчёта переходного процесса для изначально разомкнутого контакта

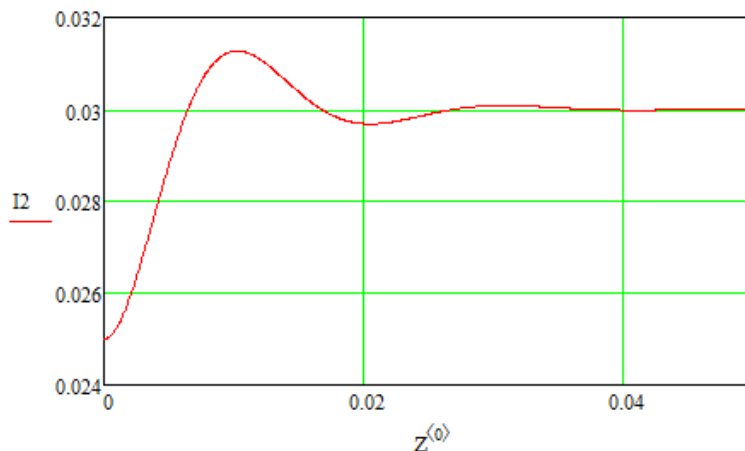


Рисунок 9 – График переходного процесса при разомкнутом контакте

В качестве примера приведем результаты расчета переходного процесса численным методом в среде вычисленной математики MathCAD при действии постоянной ЭДС для нормально разомкнутого (рисунок 8) и нормально замкнутого (рисунок 10) контакта. Графические зависимости процесса при различных видах коммутации на рисунках 9 и 11.

Создадим 3D-модель данной электрической цепи при действии синусоидальной ЭДС. С этой целью используем следующие 3D-модели реальных изделий: для подключения цепи к сети – розетку (рисунок 13), для подсоединения потребителей электрической энергии – вилку (рисунок 14).

2 Для изначально замкнутого контакта

2.1 Независимые начальные условия: $i_1(0), U_c(0)$

$$Z := R_2 + R_3 = 100 \quad I := \frac{E_m}{Z} = 0.03 \quad |I| = 0.03 \quad i_1(t) := |I|$$

$$U_c := I \cdot R_2 = 2.55 \quad |U_c| = 2.55$$

$$U_c(t) := |U_c| \quad U_c(0) = 2.55 \quad u(t) := |E_m|$$

2.2 Система дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i_1 \cdot (R_1 + R_3) + L \cdot \left(\frac{d}{dt} i_1 \right) + U_c = u(t)$$

$$i_2 \cdot R_2 - U_c = 0$$

$$i_3 = C \cdot \frac{d}{dt} U_c$$

2.3 Определение зависимых начальных условий

$$di_1 = \frac{i_1 \cdot (R_3 + R_1) - U_c + u(t)}{L} \quad dU_c = \frac{i_1 \cdot R_2 - U_c}{C \cdot R_2}$$

2.4 решим данную систему дифференциальных уравнений

$$x := \begin{pmatrix} i_1(0) \\ U_c(0) \end{pmatrix} \quad d(t, x) := \begin{bmatrix} \frac{(-x)_0 \cdot (R_3 + R_1) - x_1 + u(t)}{L} \\ \frac{x_0 \cdot R_2 - x_1}{R_2 \cdot C} \end{bmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(x, 0, 0.05, 1000, d) \quad I_2 := \frac{Z^{(2)}}{R_2}$$

Рисунок 10 – Численный метод расчёта переходного процесса для изначально замкнутого контакта

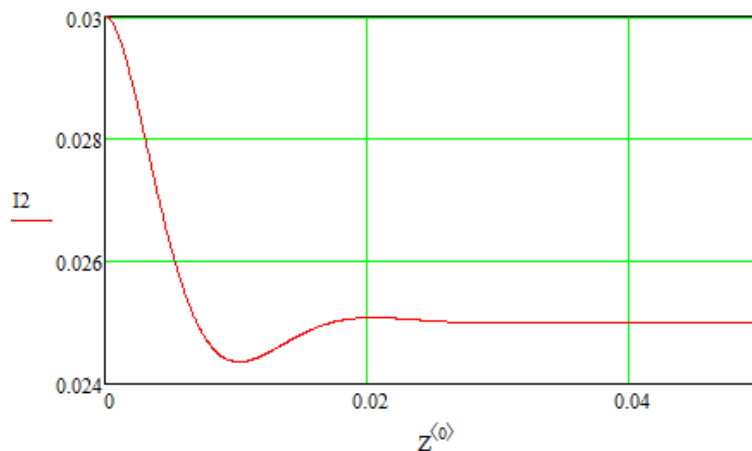


Рисунок 11 – График переходного процесса при замкнутом контакте

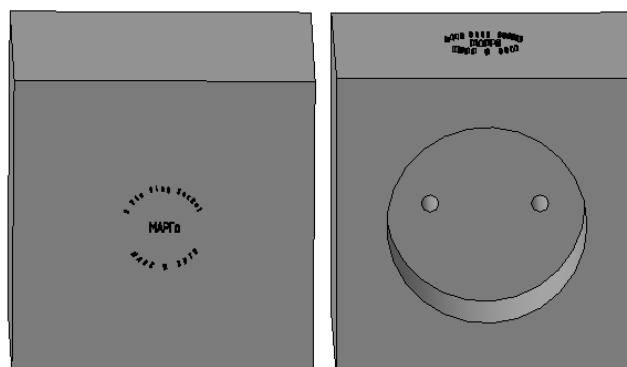


Рисунок 12 – 3D-модель розетки

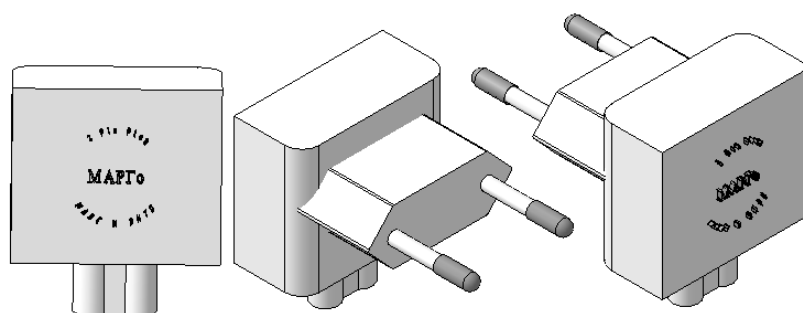


Рисунок 13 – 3D-модель вилки

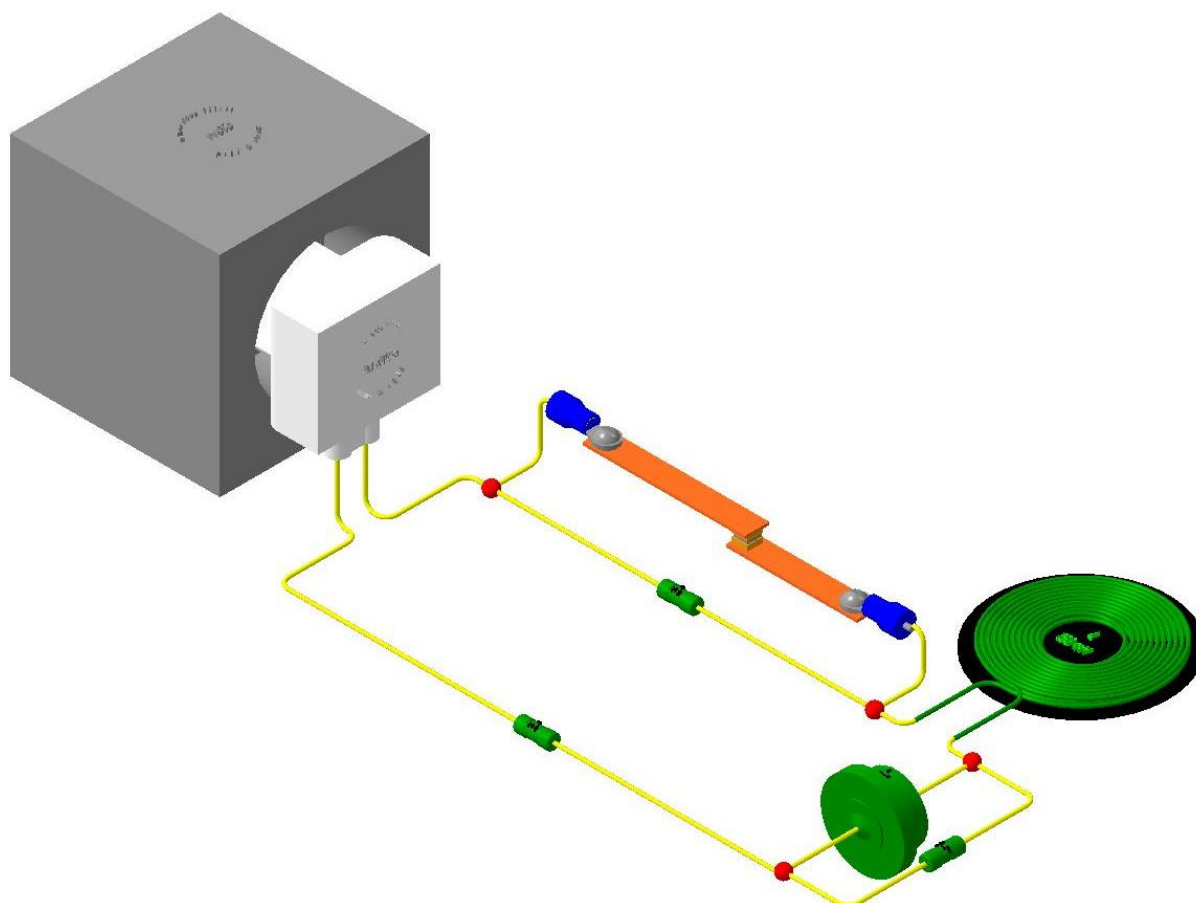


Рисунок 14 – Схема для замкнутого контакта с реальными изделиями

На рисунках 14 и 15 изображены схемы с 3D-моделями реальных электротехнических изделий для нормально замкнутого и нормально разомкнутого контакта при действии синусоидальной ЭДС.

Расчет переходного процесса при действии синусоидальной ЭДС произведем в среде динамического моделирования Simulink (рисунок 16) для нормально разомкнутого и нормально замкнутого контакта, приняв время докоммутационного режима равным 0,005 с. Графические результаты переходного процесса при различных видах коммутации представлены на рисунках 17 и 18.

Применение трёхмерного представления схем в данном случае оказывает огромную помощь в восприятии и понимании рассматриваемых электрических цепей, даёт возможность оценить их устройство и взаимодействие их частей между собой, а также увидеть форму того или иного элемента, входящего в

состав цепей. В случае переходных процессов такое представление также помогает визуализировать момент коммутации, что способствует лучшему пониманию процессов, происходящих внутри электрических цепей.

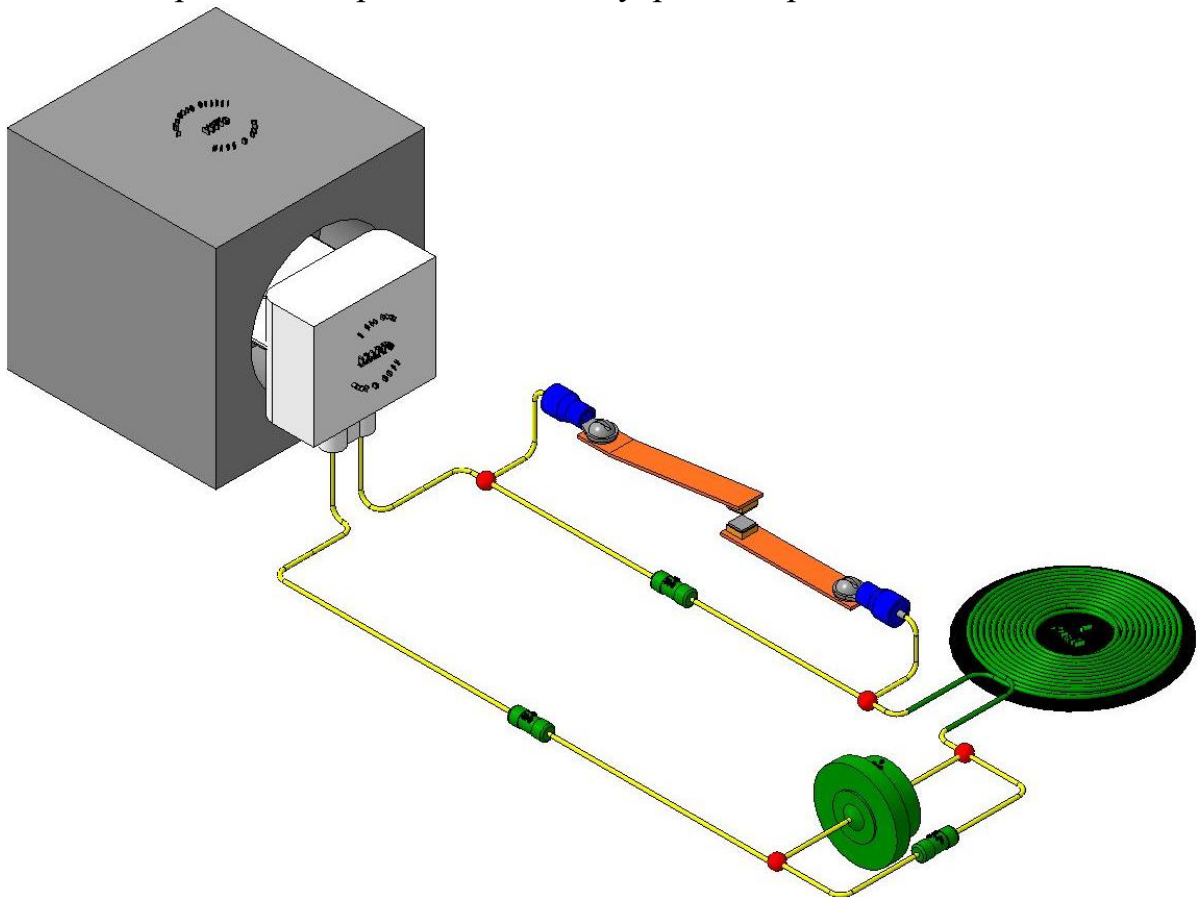


Рисунок 15 – Схема для разомкнутого контакта с реальными изделиями

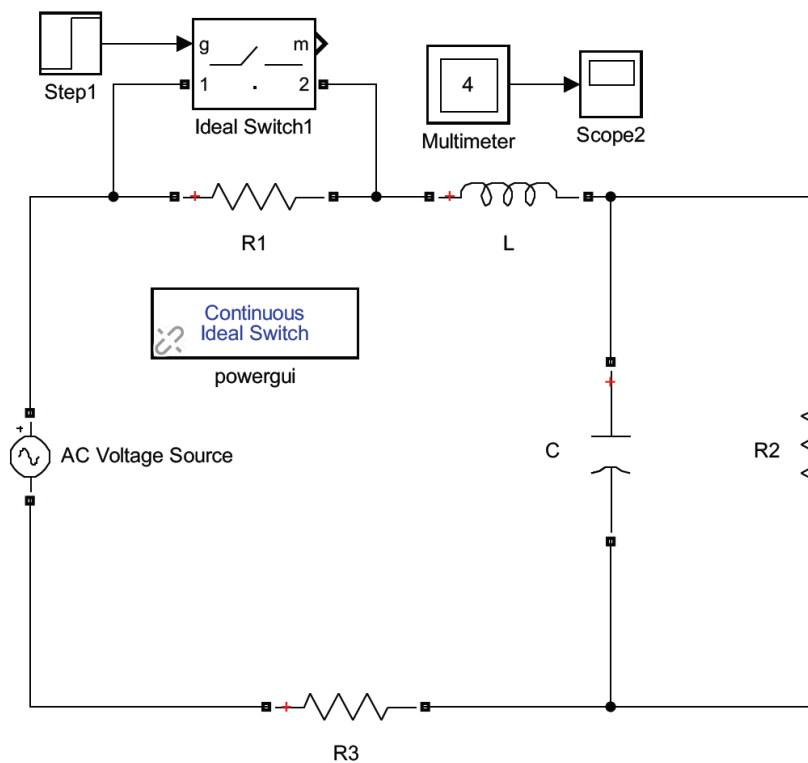


Рисунок 16 – Электрическая цепь в среде моделирования Simulink

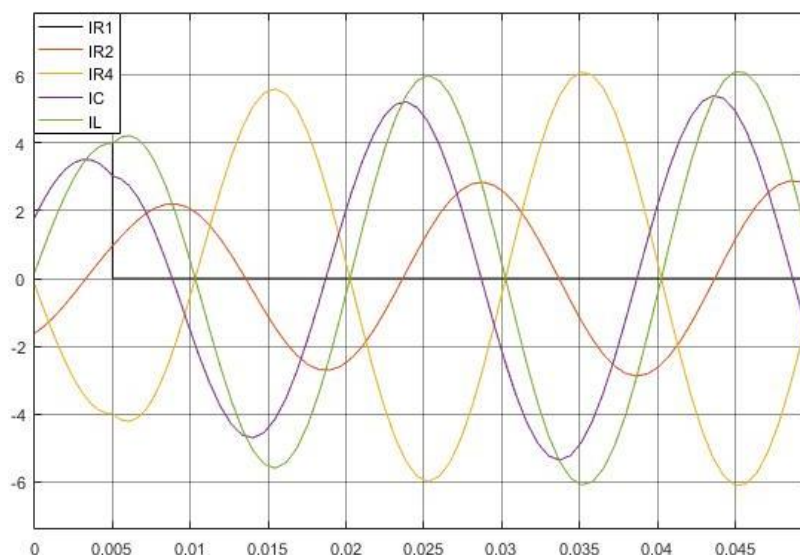


Рисунок 17 – График переходного процесса при разомкнутом контакте

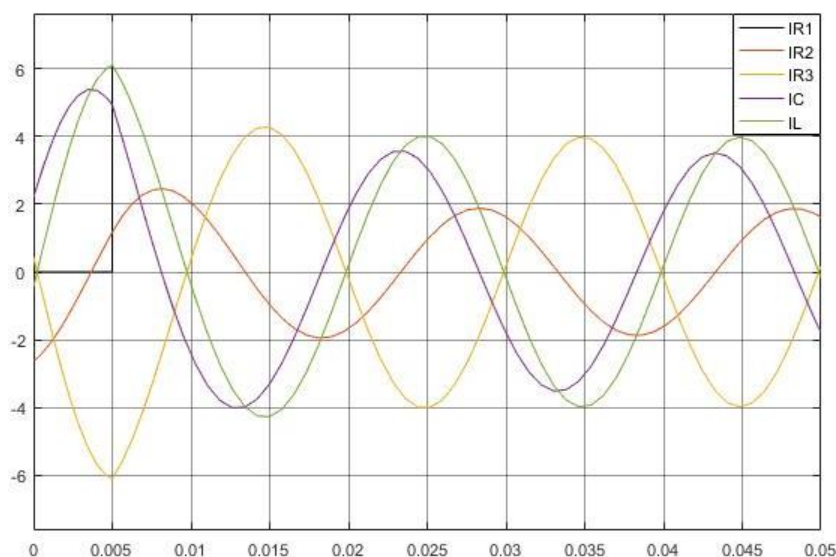


Рисунок 18 – График переходного процесса при замкнутом контакте

Литература

1. Мазуренко, А.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 2. Переходные процессы. Нелинейные цепи. Теория электромагнитного поля [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / А.А. Мазуренко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.
2. Бладыко, Ю.В. Применение MathCAD в решении задач электротехники. Ч. 2. Переходные процессы. Нелинейные цепи. Теория электромагнитного поля [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов электротехнических специальностей / Ю.В. Бладыко, А.А. Мазуренко, И.В. Новаш ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электротехника и электроника». – Минск : БНТУ, 2013.
3. 2D-3D.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.2d-3d.ru/opisanie-programm/95-preimushhestva-3d-modelirovaniya-nad-2d.html/>. – Дата доступа : 09.07.2020.
4. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Переходные_процессы_в_электрических_цепях#Методы_расчёта_переходных_процессов/. – Дата доступа : 09.07.2020.

УДК 621.311

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Доливайло А.А.

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

Формирование тарифа на электроэнергию подчиняется общим ценовым принципам.

$$T_3 = C_3 + П_3,$$

где T_3 – тариф на электроэнергию; C_3 – себестоимость электроэнергии, учитывающая затраты на производство, передачу и реализацию электроэнергии потребителям; $П_3$ – прибыль, включаемая в тариф. Установлено, что уровень прибыли (для выживания отрасли на уровне простого воспроизводства) не должен быть ниже 10 %.

Формирование тарифа на электроэнергию зависит от различных факторов, как внешних, так и внутренних, которые отражаются в его дифференциации. На уровень тарифа на электроэнергию влияют:

1. Источники энергии (стоимость ресурсов, используемых для производства электроэнергии). Как известно, наиболее дешевыми источниками являются гидроресурсы. Но и здесь, как и в других источниках, дифференциация идет по структуре генерирующих мощностей.

2. Степень технического и технологического развития передающих электрических сетей на региональном уровне. Техническая оснащенность и фондовооруженность предприятий электрических сетей, как правило, формируется в технологической взаимосвязи с производителями и потребителями электроэнергии. Чем выше экономическая эффективность деятельности электропередающих звеньев региональной энергосистемы, тем ниже тариф на электроэнергию.

3. Уровень развития самостоятельных энергопередающих систем (в рамках единой энергосистемы России) влияет на оперативность взаимосвязи между региональными энергосистемами по перетокам электроэнергии, что несомненно отражается на уровне тарифа.

Немаловажное значение в формировании тарифов на электроэнергию имеет категория потребителей, которые объединяются в следующие группы:

1. Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью:

– более 750 кВ·А;

– менее 750 кВ·А.

2. Электрофицированный железнодорожный транспорт.

3. Непромышленные потребители.

4. Сельскохозяйственное производство.

5. Население.

6. Населенные пункты.

Зависимость расходов на производство и реализацию электроэнергии от качественных характеристик потребителей создает необходимость

дифференциации тарифов по их категориям. В настоящее время для учета этой дифференциации применяются одноставочные и двухставочные тарифы.

Одноставочный тариф формируется как обычная цена за киловатт-час. электроэнергии. Используется для расчетов с потребителями, объективно не имеющими возможность влиять на режим энергопотребления. К этой категории потребителей относятся: население, бытовые организации, мелкие промышленные потребители малой мощности (до 750 кВт·А); электрифицированный городской транспорт; предприятия сельского хозяйства.

Двухставочный тариф учитывает, кроме платы за энергию, степень использования потребителем заявленной максимальной нагрузки – наибольшей получасовой мощности, отпускаемой потребителю в часы максимальных нагрузок энергосистемы. Таким образом, двухставочный тариф включает тарифную ставку за объем потребляемой электроэнергии и тарифную ставку за заявленную максимальную мощность:

По договорным соглашениям между энергосистемой и потребителем может быть установлен средний тариф с учетом дифференциации тарифных ставок по зонам суточного графика загрузки энергосистемы – пиковых максимумов, полупиковых нагрузок и часов ночного провала графиков нагрузки. Кроме того, во взаимоотношениях энергосистемы с потребителями практикуется система скидок и надбавок к тарифу за качество потребления электроэнергии.

Таким образом, в современном энергетическом хозяйстве страны существует дифференцированная по потребителям и производителям электроэнергии тарифная система, которая характеризуется существенной степенью свободы цен. Это соответствует принципам рыночной экономики и в большей степени учитывает особенности производственных взаимоотношений электроэнергетики, чем ранее существовавшая система единых для всех регионов страны тарифов.

Однако и современная система ценообразования в энергетике не лишена недостатков, которые влияют как на экономическое положение потребителей, так и энергетики в целом.

Себестоимость – показатель, характеризующий удельные затраты на единицу продукции, работ, услуг.

Спецификой производственной деятельности предприятия электрических сетей является то, что оно не создает законченной продукции, а его деятельность является технологическим этапом в процессе производства и реализации электроэнергии.

В состав затрат, учитываемых при определении себестоимости передачи электроэнергии включаются:

- затраты, связанные с текущим обслуживанием и ремонтом устройств электроснабжения;
- затраты на подготовку технологических процессов по обслуживанию постоянных устройств;
- затраты, связанные с использованием природного сырья – рекультивация земель, плата за древесину; расходы по совершенствованию технологии

обслуживания и ремонта устройств энергоснабжения, повышения уровня их надежности и безопасности работы;

- затраты по обслуживанию производственного процесса: текущий и капитальный ремонт основных фондов предприятия;

- расходы, связанные с рационализацией, изобретательством, опытно-экспериментальными работами;

- расходы по управлению производством;

- расходы на подготовку кадров, по набору рабочей силы и специалистов;

- отчисления на социальные нужды по установленным видам отчислений;

- платежи по кредитам банков в размерах установленных ставок платы за кредит;

- расходы, связанные с реализацией продукции;

- затраты на воспроизводство основных фондов в форме амортизационных отчислений;

- износ по нематериальным активам;

- выплаты за непроработанное рабочее время, в соответствии с законодательством о труде;

- начисления на заработную плату установленные на предприятии в соответствии с законодательством;

- налоги, сборы и платежи, входящие в состав прочих затрат.

При формировании фактической себестоимости работ ПЭС учитываются также затраты, связанные с потерями от брака в работе, потерями от простоев по внутрипроизводственным причинам, недостачами по материальным ценностям, выплаты пособий из-за потери трудоспособности работниками на производстве, выплаты пособий работникам по сокращению штата предприятия и некоторые другие.

Себестоимость передачи электроэнергии зависит от двух основных факторов – величины текущих затрат ПЭС и объемов переработки электроэнергии сетями. Это влияние очевидно из формулы расчета себестоимости. Объем производства также влияет на расходы предприятия и они делятся на постоянные и переменные затраты, поэтому производства изменяются более низкими темпами, чем уровень изменения объема работ. Зависимость текущих расходов от объема производства оказывает влияние и на себестоимость продукции, однако это влияние имеет обратный характер. Зависимость себестоимости от объема производства.

Переменная часть текущих расходов находится почти в пропорциональной зависимости от объема производства, поэтому себестоимость продукции в части переменных затрат остается почти неизменной.

Постоянная часть текущих затрат почти не зависит от объема производства, поэтому любое изменение объемных показателей работы ведет к изменению себестоимости продукции в этой ее части: при росте производственной программы себестоимость снижается и при падении объемов производства – растет.

В структуре полной себестоимости электроэнергии доля ее составляющей в части затрат на передачу электроэнергии колеблется в пределах 20–30 %. В

текущем периоде эта часть полной себестоимости является независимой от объема переработки электроэнергии. При снижении объема потребления и производства электроэнергии даже на 5 %, себестоимость ее передачи возрастает на 4–4,5 %, что ведет к росту полной себестоимости только за счет этой части затрат на 1–1,5 %.

Такое существенное влияние колебаний объема потребления электроэнергии на ее себестоимость необходимо учитывать при формировании тарифной (ценовой) политики в энергетике.

Основные пути снижения текущих затрат и себестоимости работ на предприятиях электроснабжения предусматривают:

1. Установление технологически обоснованных норм расхода материалов и топливно-энергетических ресурсов на обслуживание каждого объекта устройств электроснабжения. Соблюдение режима экономии материальных ресурсов, особенно в части потребления энергии на собственные нужды.

2. Снижение трудоемкости обслуживания постоянных устройств. Это ведет к снижению затрат на оплату труда, которые составляют почти 30 % расходов предприятия (с учетом отчислений на социальные нужды).

3. Проведение мероприятий по улучшению использования основных средств предприятия, повышение их надежности и безаварийности работы. Это снижает затраты на устранение текущих внеплановых отказов работы оборудования, продлевает срок службы устройств и снижает себестоимость в части амортизационных отчислений.

УДК 621.3

СИНТЕЗ ЧАСТОТНЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ

Жиркова К.Ю., Мешкова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булойчик Е.В.

Процесс разработки цифровых частотных фильтров можно разделить на несколько этапов: задание спецификации или определение требований к фильтру; выбор типа фильтра и определение его коэффициентов; выбор структурной формы реализации фильтра; анализ влияния ошибок, обусловленных конечной разрядностью представления данных; аппаратная, программная или программно-аппаратная реализация фильтра.

В первую очередь перед разработчиком встает задача выбора типа фильтра с конечной импульсной характеристикой или с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ).

При выборе типа фильтра следует учитывать следующие особенности БИХ-фильтров:

– БИХ-фильтры имеют нелинейную фазо-частотную характеристику (ФЧХ), особенно на краях полос пропускания;

– БИХ-фильтры имеют рекурсивную структуру и вследствие этого подвержены таким негативным влияниям эффектов квантования коэффициентов фильтров, как потеря устойчивости и предельные циклы;

– при одинаковых требованиях к спецификациям амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) частотно-избирательных фильтров, БИХ-фильтры обычно требуют меньшего числа коэффициентов, чем фильтры с конечной импульсной характеристикой, а меньшее число арифметических операций снижает и фактор влияния ошибок округления и переполнения, связанных с конечной разрядностью умножителей и сумматоров;

– методы синтеза БИХ-фильтров ориентированы преимущественно на аппроксимацию идеальных (имеющих прямоугольную АЧХ) частотно-избирательных фильтров.

Реализация БИХ-фильтров возможна только с использованием рекурсивных структурных схем. Среди методов синтеза таких фильтров следует выделить следующие два основных:

– метод инвариантного преобразования импульсной характеристики;

– метод билинейного преобразования.

Оба эти метода основаны на определенных трансформациях методов синтеза аналоговых фильтров.

Следует отметить, что использовать БИХ-фильтры целесообразно, когда необходимо обеспечить максимальную производительность.

Рассмотрим *метод инвариантности импульсной характеристики*. Будем использовать далее обозначения $g(t)$ и $G(p)$ для импульсной характеристики (ИХ) и передаточной функции (ПФ) аналогового фильтра-прототипа, а для соответствующего ему дискретного фильтра обозначим ИХ и ПФ соответственно $h(n)$ и $H(z)$.

Идея метода состоит в том, чтобы, синтезировав аналоговый фильтр-прототип с импульсной характеристикой $g(t)$, затем выполнить его дискретизацию: $h(n) = Tg(nT)$. Полученная ИХ $\{h(n)\}_{n=0}^{\infty}$ определяет дискретный фильтр, передаточная функция которого находится как Z-преобразование импульсной характеристики: $H(z) = Z\{h(n)\}$. Под термином инвариантность понимается равенство дискретной и аналоговой ИХ в точках дискретизации $t_n = nT$.

Рассмотрим подробнее специфику такого отображения аналогового фильтра в дискретный. Пусть ПФ денормированного аналогового фильтра-прототипа $G(p)$ содержит N простых (т. е. единичной кратности) полюсов $\{p_k\}_{k=1}^N$ и менее чем N нулей. Тогда она может быть представлена в виде:

$$G(p) = \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{p - p_k}, \quad (1)$$

где C_k – некоторые числа (возможно, комплексные), которые могут быть найдены по формуле $C_k = \lim_{p \rightarrow p_k} (p - p_k)G(p)$.

Импульсная характеристика аналогового фильтра восстанавливается по ПФ при помощи обратного преобразования Лапласа и для (1) принимает вид:

$$g(t) = \sum_{k=1}^N C_k e^{p_k t}.$$

Выполнив дискретизацию ИХ $g(t)$ с периодом T , получим выражение для ИХ дискретного фильтра:

$$h(n) = Tg(nT) = T \sum_{k=1}^N C_k \left(e^{p_k T} \right)^n. \quad (2)$$

Имеющий смысл нормировочного, множитель T вводится в (2) для того, чтобы избежать возрастания коэффициента усиления фильтра при уменьшении периода дискретизации T . Тогда ЧХ дискретного фильтра будет примерно соответствовать ЧХ аналогового фильтра:

$$G(i\omega) = \int_0^{\infty} g(t) e^{-i\omega t} dt \approx T \sum_{n=0}^{\infty} g(nT) e^{-i\omega nT} = \sum_{n=0}^{\infty} h(n) e^{-i\omega nT} = H(e^{i\omega T}) = K(\omega).$$

Приближенное равенство будет выполняться здесь тем точнее, чем меньше период дискретизации T .

Передаточную функцию синтезируемого дискретного фильтра найдем как Z-преобразование ИХ (2):

$$H(z) = T \sum_{n=0}^{\infty} \left(\sum_{k=1}^N C_k e^{p_k T n} \right) z^{-n} = T \sum_{k=1}^N C_k \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{e^{p_k T}}{z} \right)^n = T \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{\left(1 - e^{p_k T} z^{-1} \right)}. \quad (3)$$

Таким образом, каждое слагаемое из суммы (2) (p -плоскость, область ПФ аналогового фильтра) отображается в соответствующее слагаемое суммы (3) (z -плоскость, область ПФ дискретного фильтра) по следующему правилу:

$$\frac{C_k}{p - p_k} \rightarrow \frac{T \cdot C_k}{(1 - e^{p_k T} z^{-1})}. \quad (4)$$

Из (4) видно также, что устойчивый аналоговый фильтр-прототип преобразуется в устойчивый дискретный фильтр, так как если для всех полюсов аналогового фильтра $\text{Re}(p_k) < 0$, то порождаемые полюсы ПФ дискретного фильтра $z_k = e^{p_k T}$ таковы, что $|z_k| < 1, k = 1, \dots, N$. Поэтому дискретный фильтр также будет устойчивым.

Так как полиномы числителя и знаменателя ПФ аналогового фильтра (5) имеют вещественные коэффициенты, то ее полюсы либо вещественные, либо образуют комплексно-сопряженные пары $p_{k1} = \overline{p_{k2}}$.

$$G(p) = \frac{\sum_{k=0}^N \beta_k p^k}{\sum_{k=0}^M \alpha_k p^k} = K \frac{\prod_{k=1}^N (p - c_k)}{\prod_{k=1}^M (p - p_k)}, \quad (5)$$

где $\{c_k\}_{k=1}^N$ – корни многочлена $P(p) = \sum_{k=0}^N \beta_k p^k$; $\{p_k\}_{k=1}^N$ – корни многочлена

$$Q(p) = \sum_{k=0}^M \alpha_k p^k; K - \text{некоторый множитель.}$$

Такие пары дают в разложении ПФ (1) слагаемые, коэффициенты которых также комплексно сопряжены: $C_{k1} = \overline{C_{k2}}$. Соответствующие слагаемые в ПФ дискретного фильтра (3) следует объединить приведением к общему знаменателю, для того чтобы получить звено второго порядка с вещественными коэффициентами передаточной функции:

$$\frac{C}{1 - e^{sT} z^{-1}} + \frac{\overline{C}}{1 - e^{\overline{sT} z^{-1}}} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \quad (6)$$

где $b_0 = 2\text{Re}(C), b_1 = -2\text{Re}(\overline{C}e^{sT}), a_1 = -2\text{Re}(e^{sT})$.

В результате из разложения (3) получим представление ПФ в виде, готовом для реализации параллельной структуры фильтра из звеньев первого и второго порядков.

При проектировании цифровых фильтров методом инвариантности импульсной характеристики необходимо учитывать эффект наложения частот. Данный метод вызывает сложности и малопригоден для проектирования высокочастотных и режекторных фильтров. В большей степени он подходит для проектирования низкочастотных, а также полосовых фильтров, если на

частотах, близких к половине частоты дискретизации (и больших ее), аналоговый прототип имеет высокое подавление АЧХ. Очевидно, что повышение частоты дискретизации может быть одним из способов снижения негативного влияния эффекта наложения частот.

Рассмотрим синтез БИХ-фильтров *методом билинейного Z-преобразования*. Отображение комплексной p -области, на которой определяется ПФ аналогового фильтра, в комплексную z -область цифрового фильтра задается формулой преобразования переменных $z = \exp(pT)$, где T – период дискретизации аналоговой ИХ, $p = \alpha + i\omega \rightarrow z = e^{pT}$.

Поэтому для обратного отображения можно предложить соотношение $p = \frac{1}{T} \ln z$. Функцию логарифма представим сначала в виде разложения в ряд.

Используя известное разложение в ряд Тейлора $\ln(1+u) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} u^n / n$, абсолютно сходящегося при $|u| < 1$, несложно получить представление для функции

$$\ln \frac{1+u}{1-u} = \ln(1+u) - \ln(1-u) = 2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{u^{2k+1}}{2k+1}.$$

Отсюда, обозначив $z = \frac{1+u}{1-u}$ и выразив $u = \frac{z-1}{z+1}$ получаем ряд (7), который абсолютно сходится в области $\text{Re}(z) > 0$.

$$\ln z = 2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \left(\frac{z-1}{z+1} \right)^{2k+1}. \quad (7)$$

Возьмем первый член ряда (7) и вместо преобразования комплексных переменных $p = \frac{1}{T} \ln z$ рассмотрим так называемое билинейное преобразование

$$p = \frac{2}{T} \left(\frac{z-1}{z+1} \right) = \frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right). \quad (8)$$

Обозначая $\gamma = 2/T$ обратное выражение находим как

$$z = \frac{\gamma + p}{\gamma - p}. \quad (9)$$

Отметим, что пара преобразований (8) и (9) является взаимно однозначным отображением.

В методе билинейного Z-преобразования ПФ дискретного фильтра $H(z)$ находится по ПФ аналогового фильтра-прототипа $G(p)$ с использованием подстановки (8) следующим образом:

$$H(z) = G \left(\gamma \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right), \quad (10)$$

где $\gamma = 2/T$.

Рассмотрим, как отображается p -плоскость в z -плоскость в результате билинейного преобразования (8) $p \rightarrow z$. Для комплексных чисел p -плоскости, $p = \sigma + i\omega$, имеем на основании (9):

$$|z| = \left| \frac{\gamma + \sigma + i\omega}{\gamma - \sigma - i\omega} \right| = \sqrt{\frac{(\gamma + \sigma)^2 + \omega^2}{(\gamma - \sigma)^2 + \omega^2}}. \quad (11)$$

Для аналоговой частотной оси $p = i\omega$ ($\sigma = 0$) все отображенные точки лежат на единичной окружности $|z| = 1$. Поэтому $p = i\omega \rightarrow z = e^{i\hat{\omega}}$, где нормированная частота дискретного фильтра

$$\hat{\omega} = \arg\left(\frac{\gamma + i\omega}{\gamma - i\omega}\right) = \arg\left(\frac{(\gamma + i\omega)^2}{\gamma^2 + \omega^2}\right) = 2 \arg\left(\frac{2}{T} + i\omega\right) = 2 \operatorname{arctg} \frac{\omega T}{2}. \quad (12)$$

Несложно видеть, что изменению аналоговой частоты в пределах $-\infty < \omega < +\infty$ соответствует изменение нормированной частоты дискретного фильтра $-\pi < \hat{\omega} < \pi$. Для некоторых характерных аналоговых частот имеем:

$$\omega = 0 \rightarrow \hat{\omega} = 0, \quad \omega = \pm 2/T \rightarrow \hat{\omega} = \pm \pi/2, \quad \omega = \pm \infty \rightarrow \hat{\omega} = \pm \pi.$$

Для всех комплексных чисел p -плоскости, $p = \sigma + i\omega$, имеем $|z| \leq 1$ при $\sigma \leq 0$ и $|z| \geq 1$ при $\sigma \geq 0$. Это следует из того, что числитель под корнем выражения (11) меньше знаменателя при $\sigma < 0$ и больше при $\sigma > 0$. Таким образом, левая полуплоскость p -плоскости отображается внутрь, а правая полуплоскость – вовне единичной окружности $|z| = 1$ на z -плоскости. Поэтому если устойчив аналоговый фильтр с ПФ $G(p)$ (все ее полюсы на p -плоскости лежат в левой полуплоскости), то будет устойчив и цифровой фильтр, все полюсы ПФ (10) которого будут находиться на z -плоскости в области $|z| < 1$.

При проектировании фильтров методом билинейного преобразования следует учитывать его нелинейный, хотя и взаимно однозначный, характер преобразования частот аналогового прототипа и цифрового фильтра, который определяется соотношением (12) и обратным к нему $\omega = \frac{2}{T} \operatorname{tg} \frac{\hat{\omega}}{2}$. Поскольку наложения частот при билинейном преобразовании нет, то частотная характеристика дискретного фильтра $H(e^{i\hat{\omega}})$ сохраняет те же величины и характер пульсаций в заданных полосах частот, что и ЧХ аналогового прототипа $G(i\omega)$. Нужно лишь помнить, что границы полос частот необходимо пересчитать в соответствии с (12). Можно сказать, что частотная характеристика $H(e^{i\hat{\omega}})$ представляет собой сжатую по оси частот в соответствии с (12) $G(i\omega)$: $\omega \in (-\infty; +\infty) \rightarrow \hat{\omega} \in (-\pi; \pi)$. При этом на частотах, связанных соотношением (12), значения АЧХ фильтров совпадают.

Билинейное преобразование сохраняет количество нулей и полюсов передаточной функции аналогового прототипа. Нули и полюсы прототипа преобразуются в нули и полюсы дискретного фильтра по формуле (9).

Деформация оси частот делает затруднительным использование метода билинейного преобразования для синтеза фильтров с произвольными АЧХ. Однако данный метод хорошо подходит для проектирования частотно-избирательных фильтров всех типов (нижних и верхних частот, полосовых, режекторных). При этом следует иметь в виду, что ни импульсная характеристика, ни фазочастотная характеристика аналогового прототипа не сохраняются. Поэтому для проектирования фильтров с близкой к линейной ФЧХ метод билинейного преобразования также не подходит.

Литература

1. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер ; пер. С.А. Кулешова ; под ред. А.С. Ненашева. – М. : Техносфера, 2006. – 856 с.
2. Умняшкин, С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов : учеб. пособие / С.В. Умняшкин. – М. : Техносфера, 2016. – 528 с.

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Кондратеня В.А.

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

Система маслоснабжения генератора предназначена для создания масляных затворов в местах прохода ротора через наружные щиты статора, с целью предотвращения выхода наружу водорода из корпуса генератора. Система уплотнения вала генератора создаёт безопасные условия эксплуатации системы водородного охлаждения ротора генератора, так как не допускает выход водорода в помещение машинного зала.

Система уплотнений вала генератора включает в себя: резервный маслонасос с электродвигателем (ЭД) переменного тока (РМНУ); аварийный маслонасос с ЭД постоянного тока (АМНУ); инжектор системы уплотнения вала генератора (УВГ); маслоохладитель уплотнений вала генератора; два масляных фильтра; демпферный масляный бак; затвор гидравлический типа ЗГ-500-УЗ; регулятор давления уплотняющего масла типа РПД-14; эксгаустер типа ЦВ; охладитель масляных паров (маслоуловитель); кольцевые масляные уплотнения вала генератора со стороны турбины и со стороны возбуждителя генератора; КИП, трубопроводы и арматура (рисунок 1).



Рисунок 1 – Система уплотнений вала генератора

В цилиндрических уплотнениях в качестве прижимающей силы используется только сила тяжести самого вкладыша. В уплотнениях торцевого типа прижимающее усилие может создаваться давлениями водорода, масла, пружинами. Уплотнения цилиндрического типа требуют установки арматуры для вакуумной маслоочистки вследствие большего зазора, увеличенного расхода масла и его загрязнения. Но цилиндрические уплотнения проще в монтаже и эксплуатации, как правило, не повреждаются в режимах полусухого трения и при нарушениях маслоснабжения, нечувствительны к аксиальным перемещениям вала ротора. С цилиндрическим уплотнением выполнены генераторы мощностью 500 МВт и выше.

В генераторах мощностью 100–300 МВт применяют торцевые уплотнения, позволяющие получить относительно малые утечки водорода из генератора, что важно при повышенном давлении газа. Загрязнение масла водородом и воздухом незначительно из-за малых зазоров между валом и вкладышем. Однако монтаж торцевых уплотнений сложен, они чувствительны к тепловым расширениям вала и не допускают перерыва в снабжении маслом (при этом возникает полусухое трение, которое приводит к плавлению баббита и повреждению поверхности вала).

При проработке современной схемы были учтены характеристики производительности главного масляного насоса (ГМН) ($Q = 280 \text{ м}^3/\text{ч}$), расход масла на уплотнение ($7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$) и смазку подшипников

У существующей схемы уплотнения вала генератора подача масла выполнена таким образом: масло с главного маслобака (ГМБ) подводится на всос масляного насоса УВГ, далее происходит подача насосом УВГ на регулятор перепада давления (РПД) после на демпферный бак. После демпферного бака масло поступает непосредственно на уплотнение (рисунок 2).

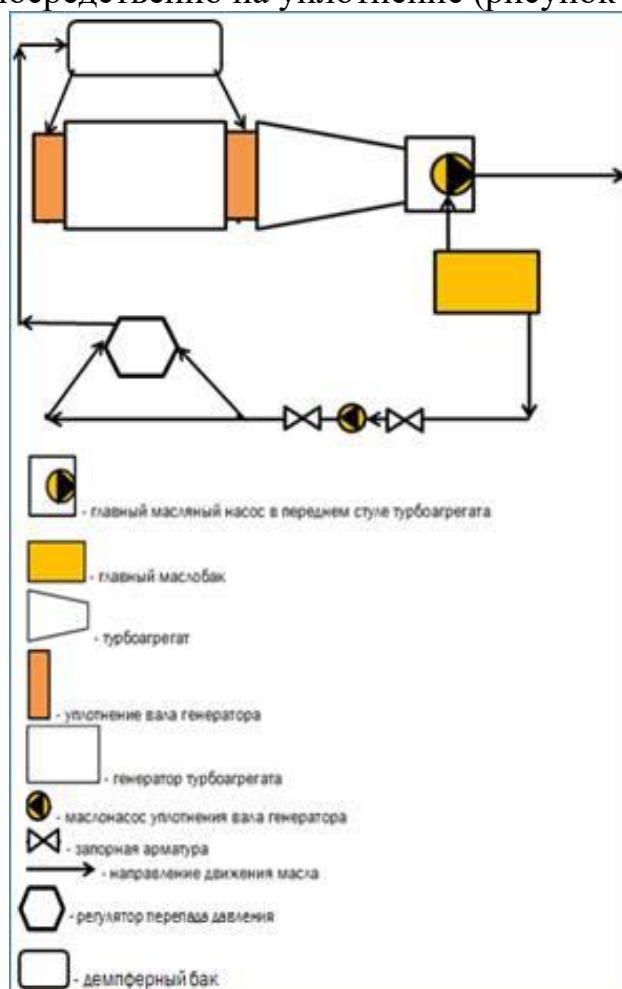


Рисунок 2 – Принципиальная схема уплотнения вала генератора

Подача масла в модернизированной схеме УВГ будет осуществляться с существующей нитки маслопровода на регулирование от ГМН на вновь смонтированный инжектор смазки, при этом от маслопровода на регулирование необходимо смонтировать новый маслопровод с врезкой в существующий

напорный маслопровод маслонасоса УВГ после запорной арматуры (ЗА) и смонтировать инжектор смазки. Далее схема работает по существующим маслопроводам. Инжектор смазки в данной схеме выполняет функцию дроссельной шайбы, выдерживает заданный расход на подачу масла на РПД. Насос УВГ остаётся в качестве резервного и вступает в работу от понижения давления в маслопроводе на уплотнения, всё необходимое для этого сделают специалисты КИП цеха (рисунок 3).

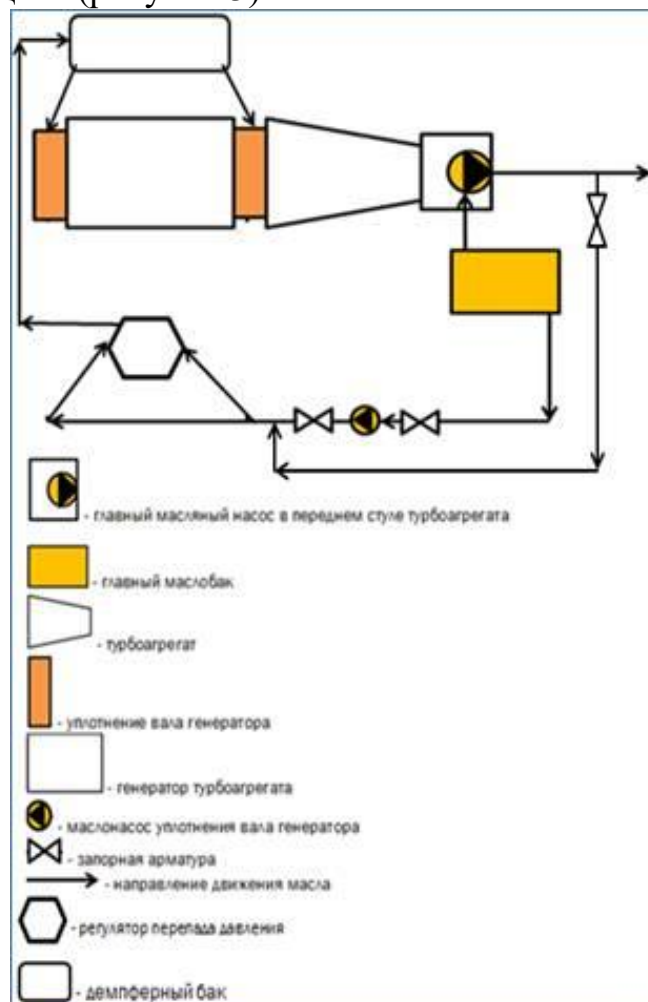


Рисунок 3 – Модернизированная схема уплотнения вала генератора

Для предприятий, на которых установлены электрические генераторы типа ТВФ-63-2Е с водородным охлаждением, представляет интерес внедрение подачи масла в модернизированной схеме УВГ.

При модернизации схемы достигается: экономия электроэнергии, снижение загруженности рабочего оборудования и, следовательно, затраты на ремонт. Внедрение такой схемы на объектах ТЭК особенно актуально в настоящее время в рамках реализации мероприятий энергосбережения.

Литература

1. Булаткин, В.А. Масляные уплотнения вала турбогенератора / В.А. Булаткин, И.Я. Гурьев, Р.М. Семкин. – М. : Энергия, 1970. – 72 с.
2. Петров, М.А. Модернизация схемы уплотнения вала генератора с водородным охлаждением / М.А. Петров. – М. : Портал Ростепло.ру, 2019.

УДК 621.3

ОХЛАЖДЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ

Михеева А.В.

Научный руководитель – Потачиц Я.В.

Во время работы генератора его обмотки и активная сталь нагреваются. Для того чтобы температура нагрева не превышала допустимых значений генераторы выполняют с искусственным охлаждением. Длительно допустимая температура частей генератора зависит от класса нагревостойкости изоляции (для класса нагревостойкости изоляции «В» допустимая температура обмотки статора не более 105 °С, а ротора не выше 130 °С. Чтобы предотвратить перегрев изоляции, генераторы выполняют с искусственным охлаждением.

По способу отвода тепла от нагретых обмоток статора и ротора различают косвенное и непосредственное охлаждение.

При косвенном охлаждении охлаждающий газ (воздух или водород) с помощью вентиляторов, встроенных в торцы ротора, подается внутрь генератора и прогоняется через немагнитный зазор и вентиляционные каналы. При этом охлаждающий газ не соприкасается с проводниками обмоток статора и ротора и тепло, выделяемое ими, передается газу через значительный тепловой барьер – изоляцию обмоток.

При непосредственном охлаждении охлаждающее вещество (газ или жидкость) соприкасается с проводниками обмоток генератора, минуя изоляцию и сталь зубцов, т. е. непосредственно.

В настоящее время применяются:

- косвенное воздушное охлаждение обмоток статора и ротора;
- косвенное водородное охлаждение обмоток статора и ротора;
- непосредственное охлаждение обмотки возбуждения и косвенное охлаждение обмотки статора водородом;
- непосредственное охлаждение обмотки возбуждения водородом, а обмотки статора водой;
- непосредственное охлаждение обмоток водой;
- дальнейшим направлением развития систем охлаждения турбогенератора является применение криогенной системы – охлаждение обмотки ротора жидким гелием.

Воздушное охлаждение косвенное ротора и статора применяется в турбогенераторах мощностью до 25 МВт и в гидрогенераторах до 250 МВт. Проточная система охлаждения применяется для генераторов небольшой мощности. В этой системе воздух забирается из помещения и с помощью вентиляторов, насаженных на вал генератора, прогоняется через зазор между статором и ротором по вентиляционным каналам. При этом изоляция обмоток быстро загрязняется и срок службы генератора уменьшается.

Замкнутая система охлаждения предусматривает циркуляцию одного и того же объема воздуха по замкнутому контуру: из камеры холодного воздуха с помощью вентиляторов на валу генератора воздух нагнетается в машину, охлаждает поверхность статора и ротора, попадает в камеру горячего воздуха,

проходит через воздухоохладитель и вновь поступает в генератор. Для восполнения потерь воздуха за счет утечек предусматривается забор воздуха через масляные фильтры. Совершенствование системы воздушного охлаждения, применение многоструйного охлаждения позволили создать серию турбогенераторов ТФ мощностью от 3 до 180 МВт.

Водородное охлаждение косвенное турбогенераторов устроено по такой же схеме, как и воздушное.

Преимуществами применения водорода являются:

- большая теплопроводность;
- меньшая плотность;
- большой коэффициент теплоотдачи с поверхности.

Более эффективное охлаждение позволяет при тех же размерах увеличить мощность турбогенераторов на 15–20 %. Благодаря меньшей плотности водорода уменьшаются вентиляционные потери, в результате чего возрастает КПД на 0,8–1 %. Изоляция в среде водорода не окисляется, поэтому повышается срок службы изоляции обмоток.

Наличие водорода в системе охлаждения не избавляет от основного недостатка – взрывоопасности, поэтому дальнейшее совершенствование систем охлаждения турбогенераторов привело к системе, которую условно называют «три воды». В этой системе обмотки статора, ротора, магнитопровод и конструктивные части охлаждаются водой.

Непосредственное охлаждение обмотки статора маслом применено в турбогенераторе ТВМ. Охлаждение огнестойкой диэлектрической жидкостью позволяет применить для изоляции обмоток статора сравнительно дешевую бумажно-масляную изоляцию. Расходы на изоляцию обмоток таких генераторов в 4 раза меньше, чем в генераторах ТВВ и ТГВ той же мощности.

Бумажно-масляная изоляция статорной обмотки позволяет повысить напряжение до 35–110 кВ, т. е. включать генератор в сеть без повышающих трансформаторов. В этой системе охлаждения не только обмотка статора, но и магнитопровод охлаждаются маслом, поэтому статор отделяется от ротора изоляционным газонепроницаемым цилиндром, рассчитанным на высокое давление и расположенным в зазоре между ротором и статором.

Созданы опытные криогенные турбогенераторы мощностью в несколько тысяч кВт. В ближайшие годы будет построен промышленный криогенный агрегат на 300 МВт, а далее проектируются машины мощностью до 2 млн. кВт. Их отличительная особенность – полупроводниковый ротор, представляющий собой вращающийся криостат, где царят вакуум и температура в 4 °К; ее поддерживает непрерывный поток сжиженного гелия. Криогенная техника ляжет в основу будущих компактных и экономичных электрических машин.

Литература

1. Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 356 с.
2. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции / В.Я. Рыжкин. – М. : Энергия, 1976. – 241 с.

УДК 331.45

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Семенович Н.В.

Научный руководитель – Баран А.Г.

В электроустановках существуют коллективные средства защиты (КСЗ) и индивидуальные средства защиты (СИЗ). КСЗ включают такие способы, как ограждения, системы автоматического контроля или защитное заземление и зануление. СИЗ могут быть использованы одним человеком.

В зависимости от напряжения электроустановок СЗ подразделяются на 2 класса:

- для установок с напряжением до 1000 В;
- для установок с напряжением выше 1000 В.

Кроме того, в электроустановках могут быть основные или дополнительные (вспомогательные) средства защиты. К основным средствам относятся такие средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение электроустановок и при помощи которых допускаются работы в электроустановках под напряжением и изолируют главным образом руки работающих от токоведущих частей или частей, оказавшихся под напряжением.

К дополнительным диэлектрическим средствам защиты относятся средства, которые сами по себе не могут обеспечить электробезопасность и лишь дополняют защитную роль основных изолирующих средств [1, 2].

К основным средствам в сетях выше 1000 В относятся:

- изолирующие штанги и клещи;
- указатели напряжения;
- приборы для обеспечения безопасности при испытаниях в сети (измерительные клещи, приборы прокола кабеля).

К дополнительным средствам в электросетях выше 1000 В относят:

- перчатки и боты;
- ковры и подставки диэлектрические;
- штанги для выравнивания потенциала;
- лестницы и стремянки изолирующие.

К основным индивидуальным средствам защиты в электроустановках до 1000 В относят:

- изолирующие штанги и клещи;
- указатели напряжения;
- измерительные клещи;
- ручной инструмент с изоляцией;
- перчатки диэлектрические.

К дополнительным средствам в электросетях до 1000 В относят:

- галоши, ковры и подставки диэлектрические;
- накидки;
- лестницы и стремянки изолирующие.

Для предотвращения воздействия на персонал электрических полей с высокой напряженностью применяются специальные экранирующие костюмы.

В качестве СИЗ для защиты различных органов и частей тела (головы, органов дыхания, рук, глаз) используются защитные каски, противогазы, рукавицы, очки. Для предотвращения падения применяются страховочные пояса, а для защиты от электродуги – специальные костюмы.

Диэлектрические перчатки применяют в электроустановках с рабочим напряжением до 1000 В и являются основным защитным средством, а выше 1000 В – дополнительным. Перчатки обеспечивают защиту человека от непосредственного прикосновения к токоведущим частям, которые находятся под напряжением.

Для работы в электроустановках выше 1000 В, они применяются как дополнительное защитное средство в сочетании с основными изолирующими защитными средствами (штанги, указатели высокого напряжения, изолирующие и электроизмерительные клещи и т. п.).

Перчатки используют без применения других защитных средств, при осуществлении операций с приводами разъединителей, выключателей и другой аппаратуры напряжением выше 1000 В.

Ширина перчаток должна позволять одеть под них теплые перчатки (для защиты кистей рук от замерзания при выполнении работ в холодную погоду). В электроустановках разрешено использовать только диэлектрические перчатки с маркировкой по защитным свойствам ЭВ и ЭН. Общепринятый стандарт размера перчаток – 350 мм.

Перед началом выполнения работ в электроустановках работник должен приготовить необходимые средства индивидуальной защиты и проверить их пригодность к использованию. Следует обратить внимание при проверке диэлектрических перчаток:

- чистота и отсутствие влаги на поверхности;
- отсутствие механических повреждений;
- проверить наличие проколов путем скручивания перчаток в сторону пальцев.
- дата следующего испытания, то есть срок их годности.

Перед применением перчатки должны быть проверены путем заполнения их воздухом на герметичность. Для защиты от механических повреждений поверх перчаток одевают кожаные или брезентовые перчатки и рукавицы. Перчатки, находящиеся в эксплуатации, следует периодически, по мере необходимости, промывать содовым или мыльным раствором с последующей сушкой. Загрязненные перчатки перед использованием должны быть вымыты и высушены.

В процессе эксплуатации проводят только электрические испытания перчаток. При испытаниях электроизолирующие перчатки погружают в металлический сосуд с водой, имеющий температуру от 15 до 35 °С, воду наливают также внутрь этих изделий. Уровень воды как снаружи, так и внутри изделий должен быть на 50 мм ниже верхнего края перчаток. Выступающие края перчаток должны быть сухими. Один вывод испытательного трансформатора соединяют с сосудом, другой заземляют. Внутри перчаток опускают электрод, соединенный с заземлением через миллиамперметр.

Изделие бракуют, если ток, проходящий через него, превышает норму или происходят резкие колебания стрелки миллиамперметра. В случае возникновения пробоя отключают дефектное изделие или всю установку

Периодичность испытаний перчаток – 1 раз в 6 месяцев [3]. Каждый раз, когда подходит срок следующего испытания, перчатки, следует сдавать в электролабораторию, где они будут испытаны в соответствии с нормами.

Обувь электроизолирующая как дополнительные защитные средства применяются в закрытых, а при отсутствии осадков – в открытых электроустановках.

Боты могут применяться как в закрытых, так и открытых электроустановках любого напряжения, галоши – только в закрытых электроустановках до 1000 В включительно.

Кроме того, диэлектрические галоши и боты используются в качестве защиты от шаговых напряжений в электроустановках любого напряжения и любого типа, в том числе на воздушных линиях электропередачи. Диэлектрические галоши и боты надевают на обычную обувь, которая должна быть чистой и сухой.

Диэлектрическая обувь должна отличаться по цвету от остальной резиновой обуви. Галоши и боты должны состоять из резинового верха, резиновой рифленой подошвы, текстильной подкладки и внутренних усилительных деталей. Формовые боты могут выпускаться бесподкладочными. Боты должны иметь отвороты. Высота бот должна быть не менее 160 мм.

Электроустановки следует комплектовать диэлектрической обувью нескольких размеров. Перед тем, как одеть спецобувь, работник должен осмотреть ее с целью обнаружения возможных дефектов (отслоения облицовочных деталей или подкладки, наличие посторонних жестких включений и т. п.). Спецобувь, имеющую какие-либо дефекты, необходимо заменить на новую, пригодную к работе [3].

Диэлектрические ковры применяются в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражения электрическим током. В электроустановках до и выше 1000 В. Помещения не должны быть сырыми и пыльными. А использование их в открытых электроустановках допускается только в сухую погоду. Ковры расстилаются по полу перед оборудованием, где возможно соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением до 1000 В, при эксплуатационно-ремонтном обслуживании оборудования, в том числе перед щитами и сборками, у колец и щеточного аппарата генераторов и электродвигателей, на испытательных стендах и т. п. Они применяются также в местах, где производятся включение и отключение рубильников, разъединителей, выключателей, управление реостатами и другие операции с коммутационными и пусковыми аппаратами как до 1000 В, так и выше.

Диэлектрические ковры изготовляют в соответствии с требованиями ГОСТ 4997 в зависимости от назначения и условий эксплуатации следующих двух групп: 1-я группа – обычного исполнения для работы при температуре от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 2-я группа – маслобензостойкие при работе от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

до +80 °С. Ковры изготавливаются толщиной 6 ± 1 мм, длиной от 500 до 8000 мм и шириной от 500 до 1200 мм. Ковры должны иметь рифленую лицевую поверхность. Ковры должны быть одноцветными. Изолирующая подставка представляет собой настил, укрепленный на опорных изоляторах высотой не менее 70 мм. Настил размером не менее 500×500 мм следует изготавливать из хорошо просушенных строганых деревянных планок без сучков и косослоя. Зазоры между планками не должны превышать 30 мм. Планки должны соединяться без применения металлических крепежных деталей. Изолирующие подставки должны быть прочными и устойчивыми. При применении съемных изоляторов, соединение их с настилом должно исключать возможность соскальзывания настила. В эксплуатации диэлектрические ковры не испытывают.

Ковры осматривают 1 раз в 6 мес., а также непосредственно перед применением. При обнаружении механических дефектов ковры изымают из эксплуатации и заменяют новыми. После хранения на складе при отрицательной температуре диэлектрические ковры перед применением должны быть выдержаны в упакованном виде при температуре (20 ± 5) °С не менее 24 ч.

Литература

1. Девисиллов, В.А. Охрана труда : учебник / В.А. Девисиллов. – 2-е издание испр. и доп. – М. : Форум, ИНФРА, 2006. – 380 с.
2. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / С.В. Белов [и др.] / Под общей редакцией С.В. Белова. – М. : Высшая школа, 1999. – 448 с.
3. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках. ТКП 290-2010 (02230). – Введ. 21.03.2011. – Минск : Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 148 с.

УДК 621.31

**РАЗНООБРАЗИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЦЕПЕЙ
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
В СИСТЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
MATLAB SIMULINK**

Русецкий К.И., Волон Р.А.

Научный руководитель – Климович П.И.

Электрическая цепь представляет собой средства и объекты, образующие, в совокупности, путь для прохождения электрического тока. Электромагнитные процессы, происходящие в них, могут получить свое определение при помощи таких понятий, как сила тока, напряжение, сопротивление и электродвижущая сила.

Моделирование цепей очень трудоемкое занятие, которое требует знания системы моделирование, принципов, свойств и особенностей того или иного элемента.

На зажимы цепи состоящей из трех разнородных элементов нагрузки (рисунок 1) с параметрами приведенными в таблице 1 подается переменное напряжение $e = E \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ частотой $f = 50$ Гц. Моделирование цепи выполним в MatLab 2017a, используя простейшие действия. Готовая модель цепи представлена на рисунке 2.

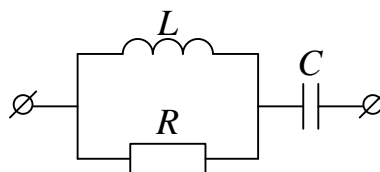


Рисунок 1 – Простейшая электрическая цепь

Таблица 1 – Параметры схемы

$E, В$	$\varphi, ^\circ$	$R, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$
127	0	300	150	1000

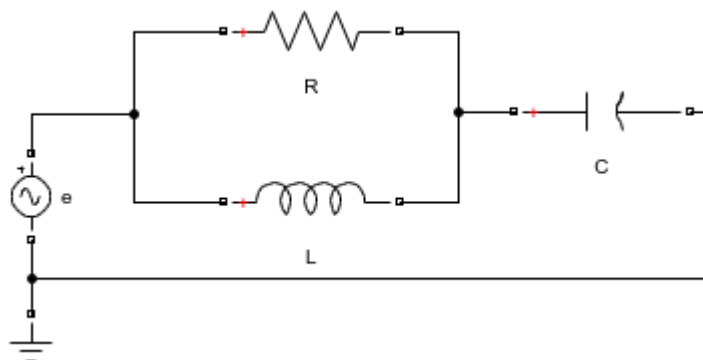


Рисунок 2 – Модель простейшей цепи

Стоит вопрос: «А как же измерять напряжения и токи на элементах и получить их осциллограммы?» Существует 2 способа:

1. С использование блоков снятия токов и напряжений.
2. С использованием блока Multimeter.

Рассмотрим первый способ с использованием блоков снятия токов и напряжений.

Собираем цепь с использованием блоков снятия токов и напряжений и получаем модель цепи, представленную на рисунке 3.

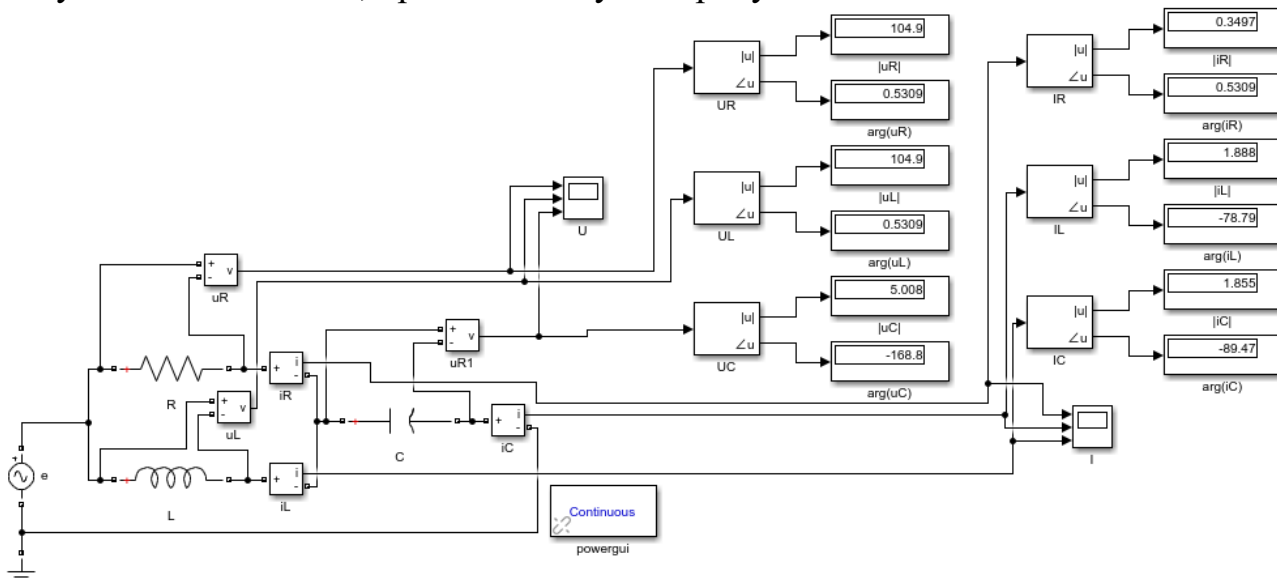


Рисунок 3 – Модель схемы с использованием блоков для снятия данных

Осциллограммы токов и напряжений элементов схемы представлены на рисунках 4 и 5 соответственно, величины токов и напряжений на рисунке 3.

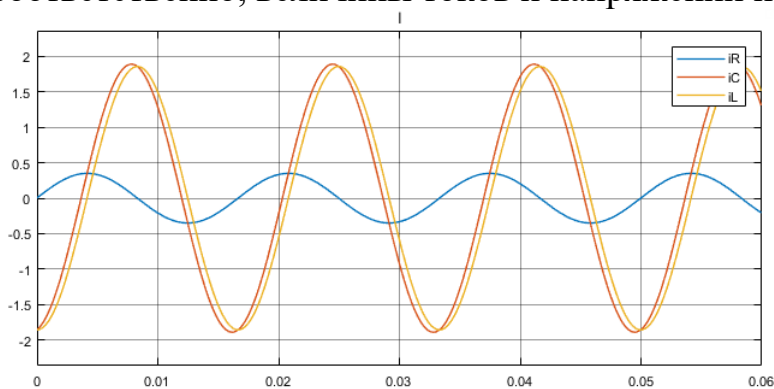


Рисунок 4 – Осциллограмма токов элементов схемы

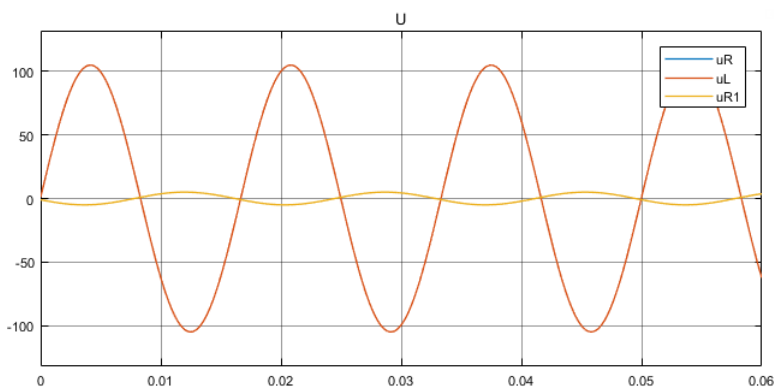


Рисунок 5 – Осциллограмма напряжений элементов схемы

Как видим, схема получается очень громоздкой, притом, что у нас схема состоит всего из семи элементов. А что будет если элементов будет в разы больше? Появится большое количество присоединений, что может привести к непониманию модели, что не очень-то хорошо.

Напряжения и токи можно также снять с помощью блока powergui. Для этого следует зайти в сам блок и перейти во вкладку Tools. В этой вкладке имеется большое количество инструментов для анализа модели. Для считывания значений токов и напряжений следует зайти в Steady-State. Значения токов и напряжений на элементах представлены на рисунке 6.

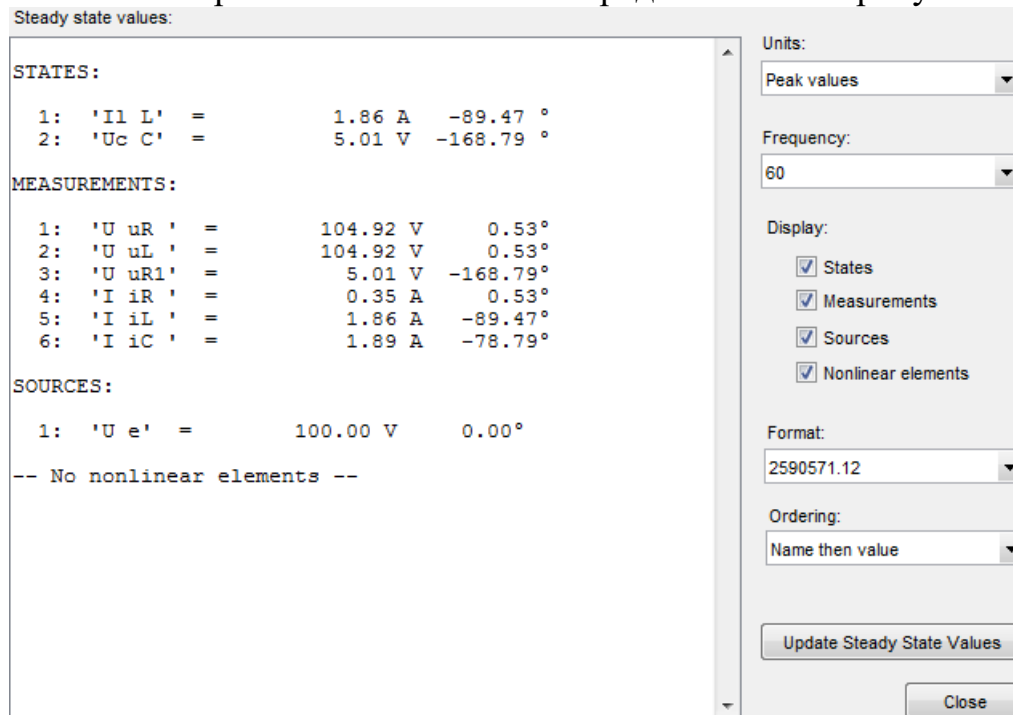


Рисунок 6 – Значения токов и напряжений в powergui

Как видим, в значениях STATES представлены только значения токов на индуктивных элементах и значения напряжений на емкости. А в значениях MEASUREMENTS представлены значения токов на амперметрах и напряжений на вольтметрах, подписанных соответственно под элементы, с которых мы снимаем ток и напряжение.

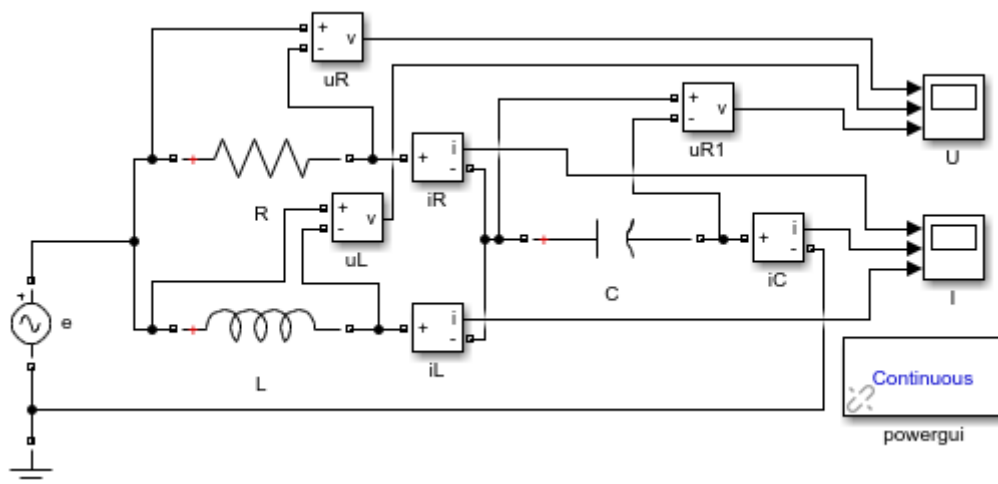


Рисунок 7 – Упрощенная схема

Таким образом, с использованием блока `powergui` можно слегка упростить схему, как показано на рисунке 7, оставив лишь блоки снятия осциллограмм токов и напряжений.

Перейдем к рассмотрению второго способа снятия токов и напряжений. Использование блока `Multimeter` позволяет снимать значения напряжений и токов без применения большого количества блоков снятия токов и напряжений.

Для того чтобы появились параметры в блоке, следует в элементах R , L , C произвести в их параметрах в строке `Measurements` произвести выбор снимаемых параметров, будь это ток или напряжение, а может оба параметра, как показано на рисунке 8.

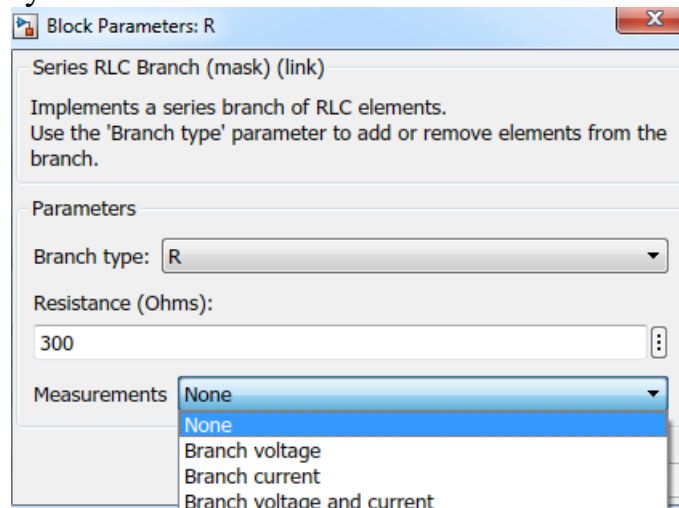


Рисунок 8 – Блок параметров резистора R

Таким образом, получаем модель схемы, представленную на рисунке 9.

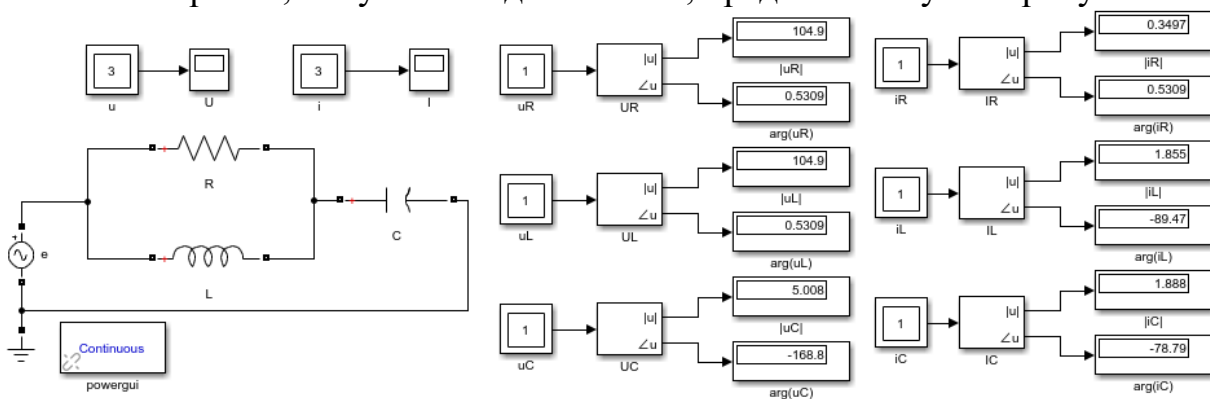


Рисунок 9 – Модель схемы с использованием блоков для снятия данных

Осциллограммы токов и напряжений элементов схемы представлены на рисунках 10 и 11 соответственно, значения токов и напряжений на рисунке 9.

На легендах осциллограмм видно, что непонятно какая осциллограмма тока или напряжения относится к определенному элементу. Для этого следует знать в каком порядке расположили выводимые данные в блоке `Multimeter` (рисунок 12).

Как видим из модели схемы представленной на рисунке 9, она получается более наглядной по сравнению с моделью схемы представленной на рисунке 3.

Напряжения и токи можно также снять с помощью блока `powergui`. Производим действия с этим блоком такие же, как и ранее. Получаем значения, представленные на рисунке 13.

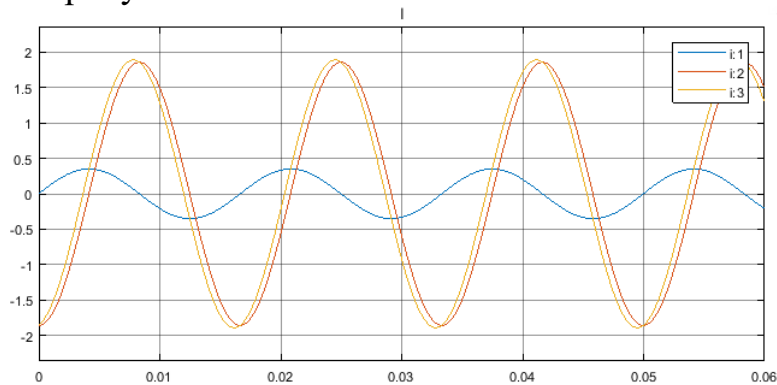


Рисунок 10 – Осциллограмма токов элементов схемы

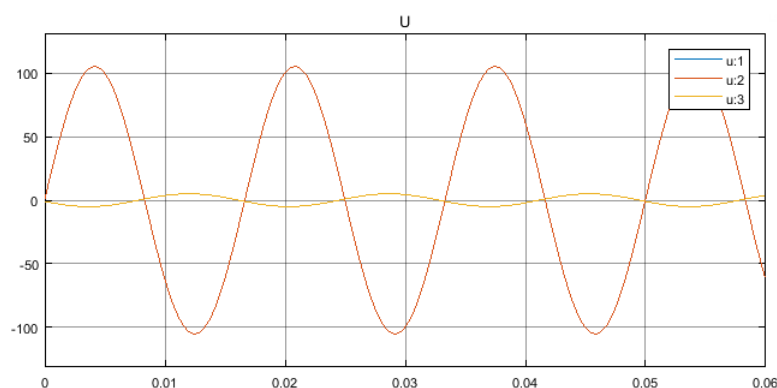


Рисунок 11 – Осциллограмма напряжений элементов схемы



Рисунок 12 – Расположение выводимых а) токов и б) напряжений

В значениях `STATES` представлены только значения токов на индуктивных элементах и значения напряжений на емкостях. А в значениях `MEASUREMENTS` представлены значения токов и напряжений, выведенных с помощью операций проделанных в блоках элементов, как показано на рисунке 8.

Таким образом, с использованием блока `powergui` можно весьма упростить схему так, как показано на рисунке 14, оставив лишь блоки снятия осциллограмм токов и напряжений.

Таким образом, делаем вывод о том, что использование блока `Multimeter` очень упрощает модель, делает ее наглядной во всех смыслах.

Сравнивая методы снятия данных с элементов, можно с легкостью говорить, что использование блока `Multimeter` облегчает работу. А если использовать в паре с блоком `powergui`, то модель схемы сводится к первоначальной схеме, очень простой и наглядной.

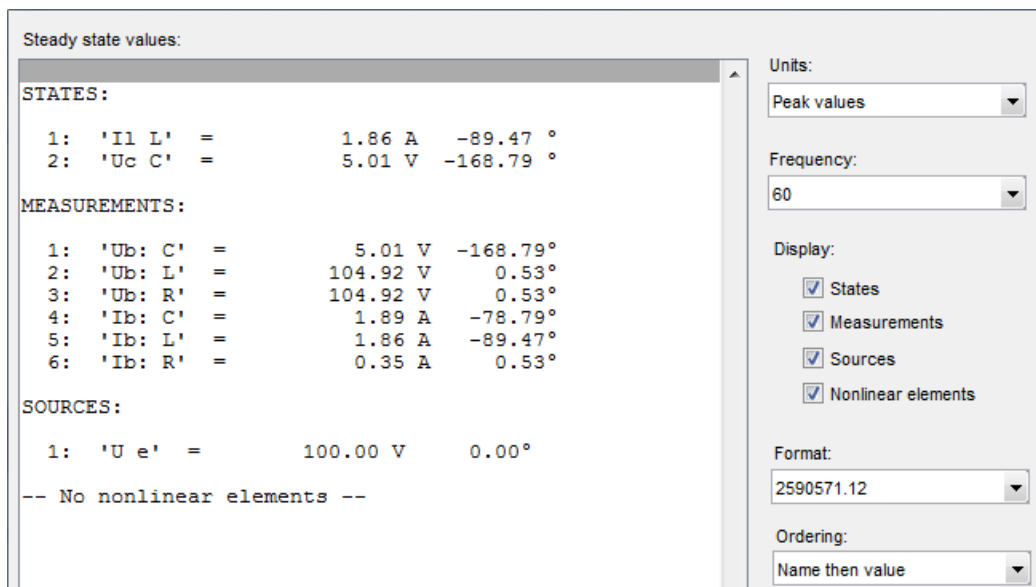


Рисунок 13 – Значения токов и напряжений в powergui

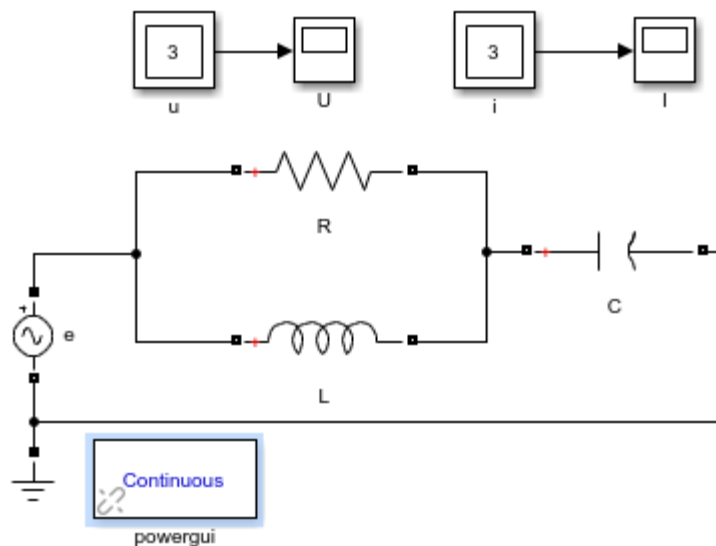


Рисунок 14 – Упрощенная модель схемы

Оба метода очень просты в исполнении, однако следует понимать, что при снятии данных с большого количества элементов метод с использованием вольтметров и амперметров является весьма неудобным и насыщает схему большим количеством присоединений, поэтому он становится не целесообразным для исследования схем.

Использование амперметров и вольтметров в схемах небольшого количества элементов будет наглядно показывать снятие значений с этих элементов как это производится в жизни.

Таким образом, можем сделать вывод о том, что каждый из методов в определенных случаях будет иметь больше достоинств перед другим и наоборот.

Наиболее целесообразным будет использование комбинации методов для расчета объемных цепей.

УДК 621.316.925.1

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

Шавлюкевич Р.В.

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

Постоянное совершенствование цифровых устройств релейной защиты (РЗ) позволяет реализовывать все более сложные алгоритмы обработки контролируемых сигналов. При этом увеличивается частота дискретизации входных сигналов, достигая 24–64 выборок на период промышленной частоты, что не приводит к существенному повышению качества определения амплитуды сигнала цифровыми фильтрами (ЦФ) из-за того, что параметры ЦФ рассчитываются применительно к простейшим входным воздействиям, форма которых существенно отличается от формы реальных аварийных сигналов.

Назначение ЦФ заключается в выделении полезного сигнала и в максимальном подавлении помехи. В общем случае сигнал помехи содержит: высшие гармоники, кратные основной частоте; затухающие апериодические составляющие; затухающие и незатухающие гармонические составляющие с частотой, отличной от основной. Поэтому точный учёт всех составляющих помехи принципиально невозможен, а, следовательно, ЦФ всегда будет выделять полезный сигнал с ошибкой тем большей, чем больше значений выборок входного сигнала будут отличаться от полезного сигнала.

Основные повреждения в энергосистеме – короткие замыкания (КЗ), токи которых не являются периодическими сигналами из-за наличия в них экспоненциально затухающей апериодической составляющей. В свою очередь, информация о токах повреждения передается к устройствам РЗ через электромагнитные измерительные трансформаторы тока (ТТ), магнитопроводы которых входят в насыщение от данной составляющей тока КЗ, в результате чего происходит искажение формы вторичного тока ТТ. Поэтому для проверки работоспособности ЦФ в условиях, приближенных к реальным, в качестве тестового входного воздействия целесообразно использовать вторичный ток.

В микропроцессорных защитах электроустановок для формирования ортогональных составляющих (ОС) входных величин широко применяются методы, обеспечивающие достаточную степень достоверности результатов при интервале наблюдения за ними, равном периоду T_0 сигнала основной частоты ω_0 . Это означает, что достоверное формирование ОС может быть достигнуто при использовании для выделения ОС N отсчетов входного сигнала $N = T_0/\Delta t$, где Δt – шаг дискретизации. Для моментов времени $t < T_0$ формирование ОС осуществляется с заметными погрешностями. Использование в микропроцессорных защитах формирователей ОС, обеспечивающих необходимую степень достоверности результатов для моментов времени $t < T_0$, т. е. при интервале наблюдения, меньшем периода сигнала, будет способствовать повышению их быстродействия. Выполнение таких формирователей ОС возможно с применением элементов теории

идентификации при упрощенном представлении входной величины с учетом ее основных компонент.

Основным достоинством формирователей ОС рассмотренного принципа выполнения является возможность получения первых результатов в течение времени, не превышающего 0,5–1,0 периода основной частоты входного сигнала. Известно, что достоверность формирования ОС во многом определяется числом используемых для этой цели отсчетов мгновенных значений входной величины. При этом с увеличением количества указанных отсчетов ухудшаются собственные динамические свойства формирователей ОС, что обуславливает снижение быстродействия микропроцессорной защиты. Наиболее оптимальное сочетание между достоверностью и быстродействием может быть достигнуто в гибких формирователях ОС. Принцип их выполнения основывается на том, что в переходных режимах повреждений электроустановок в действие вводятся формирователи ОС с малым интервалом наблюдения. Их функционирование прекращается по истечении определенного промежутка времени, например, равного периоду основной частоты, или при наступлении установившегося режима. Дальнейшее формирование ОС осуществляется с изначально принятым интервалом наблюдения (основным). Реализация гибкого формирования ОС предполагает наличие пускового органа (ПО), фиксирующего наступление переходного режима и запускающего выполнение этой процедуры с малым интервалом наблюдения.

В переходных режимах повреждений малый интервал наблюдения при формировании ОС может быть обеспечен одним из следующих подходов:

– путем уменьшения количества отсчетов мгновенных значений входной величины, участвующих в формировании ОС при сохранении неизменным интервала между ними ΔT ;

– за счет уменьшения интервала между отсчетами мгновенных значений входной величины, участвующими в формировании ОС, при неизменном их количестве.

В настоящее время большинство фирм-производителей оборудования РЗА прекращают выпуск электромеханических и электронных реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу. Это не приводит к изменению принципов РЗА, упрощает эксплуатацию и снижает её стоимость.

Также один из плюсов – современные цифровые устройства РЗА совмещают в рамках единого комплекта функции релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановкой. В цифровых устройствах РЗА появляется возможность перехода к новым измерительным преобразователям тока и напряжения на основе использования оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т. д. Эти преобразователи технологичнее в производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность.

Устройства РЗА должны выбираться в первую очередь исходя из выполняемых ими функций и условий совместимости с прочим оборудованием, а во вторую – по экономическим соображениям.

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Адинцова Я.П., Ерёменко М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПОСЛЕ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АЭС НА ПРИМЕРЕ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС

Васильев И.А., Ярмош М.С.

Научные руководители – ассистент Ракевич С.И., старший преподаватель Романко В.А.

ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Высоцкая В.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

УСЛОВИЯ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Гапеев К.Н., Пантелей Д.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСОВ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

Дячэк О.А.

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

ПРОБЛЕМЫ КОНДЕНСАТОРОВ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ерёменко М.А., Стрежик А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Ерёменко М.А., Стрежик А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

РАСХОЛАЖИВАНИЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН НЕБЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Иванова К.С., Михалченок В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УДАРЫ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Казейка К.В., Бубнова А.А.

Научный руководитель – ассистент Ракевич С.И.

ЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ИННОВАЦИИ НА ТЭС

Колесень Е.А., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

ДИАГНОСТИКА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Колос В.М., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС

Пантелей Д.Е., Дячэк О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ БАРАБАНОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ В УСЛОВИЯХ ПУСКОВ И ОСТАНОВОВ

Сацкевич Я.М., Эркабаева Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

Стриголович И.И., Алексеева О.С., Силкин Н.В.

Научный руководитель – ассистент Ракевич С.И.

УДК 621.321

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Адинцова Я.П., Ерёменко М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

При вращении ротора паровой турбины даже при небольшом его отклонении от концентричного положения, на ротор начинают действовать силы со стороны смазочного слоя подшипников и рабочего тела в проточной части.

Силы упругости стремятся вернуть ротор в прежнее положение, а дестабилизирующие силы действуют перпендикулярно отклонению, заставляя ротор отклоняться по другой координате и совершать прецессию (вращение вокруг центра равновесия), которая происходит с частотой равной половине оборотной. Такая вибрация с частотой 25 Гц называется низкочастотной вибрацией (НЧВ) [1, 2].

В зависимости от источника возбуждающих сил различают два вида НЧВ [2]:

- «масляная вибрация», которая вызвана только гидродинамическими возбуждающими силами в подшипниках скольжения;
- «паровая вибрация», которая вызвана совместным действием возбуждающих сил в подшипниках и газодинамических сил в проточной части.

Масляная НЧВ, вызываемая гидродинамическими силами в подшипниках, проявляется при выходе на холостой ход. Иногда масляная НЧВ появляется при разгрузке какого-либо подшипника в результате тепловых расцентровок опор, то есть после взятия нагрузки. НЧВ этого типа может проявляться на гибких роторах среднего и низкого давления, а также ротора генератора, где газодинамические силы незначительны.

В [2] рассматривается поведение шейки ротора 1 в расточке вкладыша подшипника 2 с точки зрения действующих на нее сил (рисунок 1, а, б).

При увеличении частоты вращения шейка ротора 1 начинает всплывать в расточке 2 под действием статических гидродинамических сил. При этом всплытие происходит не вертикально, а со смещением по горизонтали, как показано на рисунке 1, а. Горизонтальное смещение шейки происходит из-за несимметричного течения смазки в зазоре, которая справа течет в конфузорной области, а слева – в диффузорной. Таким образом, при повышении частоты вращения шейка перемещается по кривой 1 на рисунке 1, б, называемой кривой подвижного равновесия (КПР).

В [2] отмечается, что чем меньше вертикальная нагрузка, чем больше вязкость смазки, и чем меньше зазор, тем быстрее всплывает цапфа.

Кривая подвижного равновесия обладает следующим важным свойством. Если шейка находится ниже точки Е (рисунок 1, б) на КПР (точка М), то любое смещение ее из положения равновесия не вызывает возмущающих сил, способствующих развитию НЧВ. Если же шейка находится выше точки Е, например, в точке N, любое случайное отклонение шейки вызывает силы,

отклоняющие ее в перпендикулярном от смещения направлении, и, если эти силы окажутся больше, чем силы демпфирования, возникнет НЧВ.

Таким образом, чем ниже находится цапфа в расточке, то есть чем больше коэффициент нагруженности S , тем ротор устойчивее.

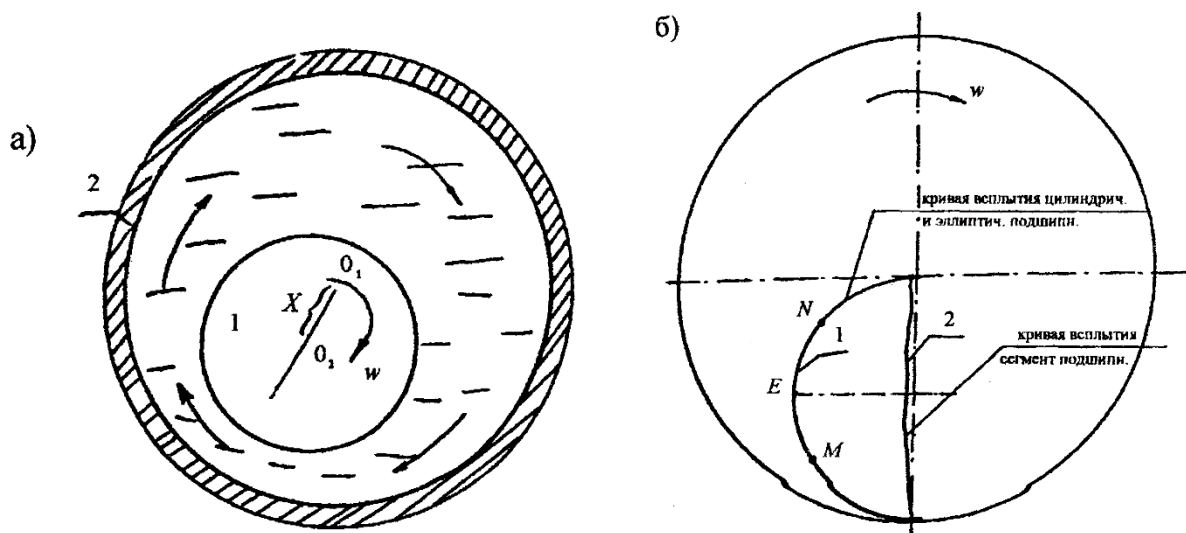


Рисунок 1 – Поведение шейки вала (1) во вкладыше подшипника (2)

Следовательно, для обеспечения устойчивости к «масляной» вибрации необходимо уменьшать вязкость смазки (повышать ее температуру), увеличивать удельное давление на подшипник и увеличивать значение горизонтального зазора, характеризующего диаметр расточки.

На всех современных турбоагрегатах для увеличения устойчивости применяется не цилиндрическая расточка подшипника, а эллиптическая.

Для получения эллиптичности при расточке подшипника в разъем вкладышей устанавливаются прокладки толщиной A . После расточки прокладки вынимаются и вертикальный зазор становится меньше горизонтального на величину A . При этом под верхним вкладышем образуется дополнительный смазочный клин, благодаря которому шейка вала расположена ниже в расточке. Кроме того, верхний клин увеличивает демпфирование, что оказывает стабилизирующее действие.

Эксперименты и расчеты показывают [2], что оптимальным значением степени эллиптичности является: $\varepsilon = 0,6 - 0,7$. Большая цифра относится к легконагруженным подшипникам.

В современном турбостроении стало традиционным выполнять в верхнем вкладыше выточку для охлаждения смазки, так называемый «холодильник». Исследования [2] показали, что такая конструкция не является оптимальной ни по устойчивости, ни по экономичности. Целесообразно выполнять верхний вкладыш сплошным. При тенденции к возникновению НЧВ это надо делать обязательно.

В качестве временной меры можно повысить на $5 - 8^\circ\text{C}$ температуру масла на входе в подшипник, если не появятся ограничения по температуре баббита опорных и упорного подшипников.

В заключение отметим, что радикальным средством снижения масляной НЧВ является установка роторов на подшипники с качающимися сегментами (сегментные подшипники), показанные на рисунке 2.

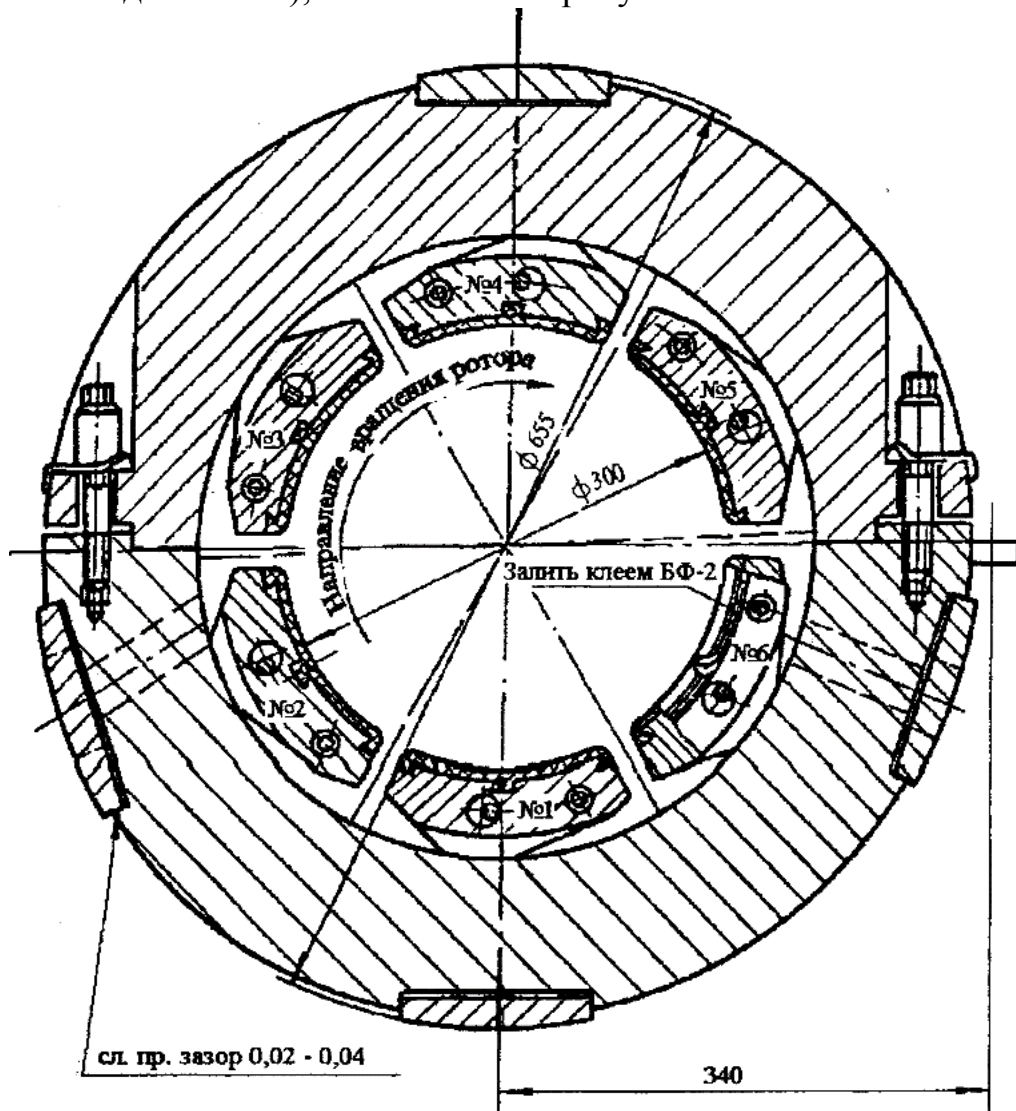


Рисунок 2 – Подшипник с качающимися сегментами

Траектория всплытия шейки в таких подшипниках – прямая линия, что указывает на отсутствие возмущающих сил смазочного слоя, то есть подшипник играет роль демпфера.

Литература

1. Рекомендации по устранению низкочастотной вибрации роторов энергетических турбин / В.И. Олимпиев и др. // Л.: Изд. ЦКТИ, 1976.
2. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 2. Диагностика паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др. Под ред. Хоменок Л.А. – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2002. – 264 с.

УДК 621.165+621.438

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС В СОСТАВЕ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПОСЛЕ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АЭС
НА ПРИМЕРЕ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС**

Васильев И.А., Ярмош М.С.

Научные руководители – ассистент Ракевич С.И.,
старший преподаватель Романко В.А.**Минимальное количество работающих блоков для сохранения
живучести электростанции и обеспечения теплоснабжения**

В настоящее время на Лукомльской ГРЭС сложился следующий режим работы: в летний период в работе, как правило, находятся 6-8 блоков К-300 и блок ПГУ 427 МВт, в осенне-весенний и зимний периоды – 4-2 блока К-300 и блок ПГУ 427 МВт. При пониженных температурах наружного воздуха ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже) в работе находятся минимум 3 блока К-300.

Вопрос сохранения живучести электростанции и обеспечения минимально-допустимого теплоснабжения г. Новолукомля зависит от количества работающих блоков, и от их нагрузки.

Согласно расчетам персонала ЛГРЭС для обеспечения теплоснабжения г. Новолукомля и главного корпуса ЛГРЭС, а также для обеспечения собственных паровых нужд станции с учетом возможности одновременной растопки блока в отопительный период количество работающих энергетических блоков ст. № 1-8 на Лукомльской ГРЭС должно быть:

- при температуре наружного воздуха от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – не менее 2-х;
- при температуре наружного воздуха от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ – не менее 3-х.

При температуре наружного воздуха $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше возможна работа только одного энергоблока 300 МВт (ст. № 1, 2, 7, 8), при этом обеспечивается тепловое потребление города, а также необходимое потребление пара на собственные нужды станции как при пуске ПГУ, так и при пуске второго блока 300 МВт. Однако такой режим работы крайне опасен и не может рассматриваться к применению без дополнительных мероприятий, так как в случае аварийного останова единственного работающего блока 300 МВт, вся теплосеть остается без источника тепловой энергии.

Согласно результатам проведенных испытаний персоналом ЛГРЭС при принятой на сегодняшний день минимальной нагрузке блока 120МВт, теплофикационная установка одного блока может отпустить 25 Гкал/ч.

При этом по тепловым схемам блоков существуют следующие возможности и ограничения:

- средняя производительность блочной РУ 4,0/1,3 МПа составляет 25 т/ч;
- на блоках ст. № 1, 2 и № 5-8 имеется возможность подать пар в коллекторы 1,3 МПа из котла через расширитель Р-20 ата с расходом не менее 30 т/ч;
- на блоках ст. № 3, 4 отсутствует возможность подать пар из котла в коллекторы 1,3 МПа;
- на блоке ст. № 4 отсутствует пиковый бойлер;

- на блоках ст. № 5, 6 – недостаточная тепловая производительность теплофикационной установки, маленькая площадь поверхности нагрева основного и пикового бойлеров (ПСВ-125-7-15). Номинальный расход сетевой воды через подогреватели 250 т/ч.

Несмотря на то, что блоки № 3, 4 являются наиболее маневренными (оснащены системой автоматического регулирования частоты и мощности), исходя из существующих ограничений в отопительный период для обеспечения теплоснабжения г. Новолукомля, собственных нужд и живучести станции в настоящее время без выполнения дополнительных мероприятий целесообразно держать в работе именно блоки ст. № 1, 2, 7, 8, которые имеют возможность подать пар в коллекторы 1,3 МПа из котла через расширитель Р-20 и имеют достаточную производительности теплофикационной установки. При планировании состава работающих блоков, при отрицательных температурах, необходимо также исходить из условий эксплуатации железобетонных дымовых труб №№ 1, 2, для предупреждения их разрушения.

При составе оборудования (в работе один блок 300 МВт и ПГУ) при положительных температурах наружного воздуха, в случае отключения работающего блока 300 МВт будет наблюдаться дефицит пара в коллекторах собственных нужд 1,3 МПа. Первоначально питание коллекторов 1,3 МПа можно будет производить за счет аккумулированного пара остановленного котла (при благоприятных условиях в течении ≈ 2 ч).

Во время эксплуатационного (проектного) режима работы оборудования, ПГУ не потребляет пар из коллекторов 1,3 МПа, пар необходим только при пусковых операциях, для уплотнения паровой турбины.

В случае отключения блока 300 МВт и ПГУ, и полного обеспаривания коллекторов 1,3 МПа, для пуска ПГУ необходима будет растопка котла для питания коллекторов 1,3 МПа через Р-20, при этом возникает проблема с температурным состоянием пароперегревателя из-за безрасходного режима на нём.

Отсутствие пара в коллекторах 1,3 МПа вызовет нарушение режима подогрева сырой воды перед осветлителями. При достаточном количестве обессоленной воды в баках БОУ (для восполнения пароводяных потерь блоков 300 МВт и ПГУ на станции установлены три бака обессоленной воды по 1000 м³), допускается временный останов оборудования химводоподготовки.

При аварийном отключении работающего энергоблока 300 МВт и появлении дефектов оборудования препятствующих его пуску, Лукомльская ГРЭС в течение примерно 7-8 часов не сможет выдерживать рабочую температуру сетевой воды на город до пуска другого энергоблока – время до растопки котла не менее 3 часов, в соответствии с графиком-заданием пуска блока 300 МВт из холодного состояния, время от растопки котла до включения блока в сеть – 3 ч 10 мин., после включения блока в сеть при нагрузке 25-30 МВт сделать выдержку 40 мин. для прогрева стопорных клапанов и цилиндров турбины. Подключение теплофикационных бойлеров (основного и пикового) и отпуск тепла с нормативной (рабочей) температурой сетевой воды потребителям

(город, промзона, главный корпус и ПГУ) возможен не раньше выхода на 120 МВт.

Возможные режимы работы ЛГРЭС

С вводом АЭС вопрос переизбытка мощностей в энергосистеме значительно обострится и соответственно остро становится вопрос о необходимости вывода из работы (в резерв) избыточных мощностей, к которым в первую очередь относятся конденсационные блоки К-300 Лукомльской ГРЭС.

Ориентировочные прогнозы относительно режимов работы электростанции:

до ввода АЭС в отопительный период в зависимости от вышеперечисленных факторов, на Лукомльской ГРЭС в работе будут находиться:

1. В выходные дни от одного до двух энергоблоков 300 МВт и постоянно (за исключением ремонтных периодов) энергоблок ПГУ-427. При этом в ночное время будет производиться постоянная разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки, а в дневное – энергоблоков 300 МВт по мере необходимости.

2. В рабочие дни от трех до шести энергоблоков 300 МВт и постоянно (за исключением ремонтных периодов) энергоблок ПГУ-427. При этом в ночное время будет производиться постоянная разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки. В дневное время загрузка энергоблоков 300 МВт будет осуществляться в зависимости от необходимости покрытия суточного графика электропотребления.

До ввода АЭС в межотопительный период на Лукомльской ГРЭС в работе будут находиться:

1. В выходные дни от трех до пяти энергоблоков 300 МВт и постоянно (за исключением ремонтных периодов) энергоблок ПГУ-427. При этом в ночное время будет производиться постоянная разгрузка всех энергоблоков 300 МВт до технического минимума нагрузки и частичная разгрузка энергоблока ПГУ-427 (по мере необходимости), в дневное время будет производиться разгрузка энергоблоков 300 МВт по мере необходимости.

2. В рабочие дни от пяти до семи конденсационных энергоблоков 300 МВт и постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов). При этом в ночное время будет производиться разгрузка всех энергоблоков 300 МВт до технического минимума и частичная разгрузка энергоблока ПГУ-427 (по мере необходимости). В дневное время загрузка энергоблоков 300 МВт будет осуществляться в зависимости от необходимости покрытия суточного графика электропотребления.

После ввода одного энергоблока АЭС в отопительный период на Лукомльской ГРЭС:

1. В выходные дни в работе будет находиться постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов), возможен останов всех энергоблоков 300 МВт. В ночное время будет производиться разгрузка энергоблока ПГУ-427 до технического минимума.

2. В рабочие дни в работе будут находиться порядка двух – трех

энергоблоков 300 МВт и постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов). При этом в ночное время будет производиться разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки. В дневное время загрузка энергоблоков 300 МВт будет осуществляться в зависимости от необходимости покрытия суточного графика электропотребления.

После ввода одного энергоблока АЭС в межотопительный период на Лукомльской ГРЭС в работе будут находиться:

1. В выходные дни от двух до трех энергоблоков 300 МВт и постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов). В ночное время будет производиться постоянная разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки, а в дневное – энергоблоков 300 МВт по мере необходимости.

2. В рабочие дни порядка четырех–пяти энергоблоков 300 МВт и постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов). В ночное время будет производиться постоянная разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки, в дневное – загрузка всех энергоблоков 300 МВт будет осуществляться в зависимости от необходимости покрытия суточного графика электропотребления.

После ввода двух энергоблоков АЭС как в отопительный, так и в межотопительный период на Лукомльской ГРЭС в работе будут находиться:

1. В выходные дни энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов), возможен останов всех энергоблоков 300 МВт. В ночное время будет производиться разгрузка энергоблока ПГУ-427 до технического минимума нагрузки.

2. В рабочие дни порядка одного–двух энергоблоков 300 МВт и постоянно энергоблок ПГУ-427 (за исключением ремонтных периодов). В ночное время будет производиться разгрузка всех энергоблоков (в т.ч. ПГУ-427) до технического минимума нагрузки. В дневное время загрузка энергоблоков 300 МВт планируется на уровне технического минимума (за исключением пяти–шести часов максимального электропотребления в сутки).

Литература

1. Пояснительная записка к годовому отчету о работе Лукомльской ГРЭС за 2015 год. Филиал «Лукомльская ГРЭС» РУП «Витебскэнерго», 2016.
2. Отчет о проведении испытаний по расширению регулировочного диапазона эксплуатационных нагрузок энергоблоков 300 МВт Лукомльской ГРЭС с котлами ТГМП-114 до 100 МВт при работе на газе. ЛГРЭС, 2015.
3. Технический отчет «Проведение испытаний системы автоматического регулирования частоты и мощности (САРЧМ) бл.ст. № 4 Лукомльской ГРЭС». ЛГРЭС, 2011.
4. Нормативно-технические документы по топливоиспользованию энергоблока ПГУ-427 МВт Лукомльской ГРЭС РУП «Витебскэнерго», ОАО «Белэнергоремналадка» 2016.
5. Нормативно-технические документы по топливоиспользованию Лукомльской ГРЭС, ОАО «Белэнергоремналадка», 2013.

УДК 628.168

**ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ:
БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Высоцкая В.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

В теплоэнергетике большое внимание уделяется качеству воды для технологических целей. Подготовка воды для котельных установок, теплосетей и систем оборотного водоснабжения является важным условием для обеспечения надёжности и экономичности работы энергооборудования.

В большинстве водоподготовительных установок, применяемых в настоящее время, используются технологические схемы, разработанные в середине прошлого века. Эти схемы включают в себя следующие методы: осветление на механических фильтрах, известкование с коагуляцией, ионный обмен, обеспечивающие высокое качество воды и простоту эксплуатации оборудования. Вместе с тем они имеют существенные недостатки, связанные, в первую очередь, с использованием агрессивных химических реагентов и наличием большого количества высокоминерализованных стоков. Также проблемой этих схем является сложность их нейтрализации и утилизации, а также практически полное отсутствие автоматизации процессов. Применяемые технологии характеризуются и высокими эксплуатационными затратами [1].

Для сокращения эксплуатационных расходов на водоподготовку и снижения экологической нагрузки в водоподготовительные установки внедряют новые технологии, а именно: безреагентные мембранные технологии – фильтрация воды через пористые материалы, размер пор которых колеблется от микрон до тысячных их долей. В зависимости от размеров пор мембранные технологии подразделяются на обратный осмос, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и электродеионизацию.

В настоящее время, значительная часть установок, использующих мембранные технологии, комплектуется из зарубежных фильтрующих элементов. Основные преимущества таких установок заключаются в сокращении расхода реагентов на восстановление (регенерацию) мембраны, в уменьшении габаритов оборудования, снижении площадей складских помещений.

Очистка воды через микрофильтры (размер пор 0,1–1,0 мкм) позволяет задерживать взвешенные вещества, бактерии, частично коллоидные вещества и вирусы, а очистка воды ультрафильтрами (размер пор 0,01–0,1 мкм) позволяет удалять их практически полностью. Нанофильтрационные мембраны (размер пор 0,001–0,01 мкм) позволяют на 90–95 % удалять ионы, валентность которых более двух, в большинстве катионы жесткости, а также частично одновалентные ионы. Обратноосмотические мембраны (размер пор менее 0,001 мкм) практически полностью удаляют все ионы [2].

Восстановление работоспособности мембран, работающих по технологии микрофильтрации и ультрафильтрации, осуществляется проведением обратных промывок и периодическими химическими очистками, расход реагентов для

которых несравнимо ниже, чем для восстановления ионообменных смол. Поскольку загрязненные и чистые стоки в технологиях нанофльтрации и обратного осмоса разделяются, реагенты необходимы только периодически для проведения химических моек мембранных элементов. В связи с отсутствием опасных и вредных реагентов сбросные воды от мембранных установок могут сразу сбрасываться в канализацию без применения нейтрализации.

Таким образом, применяя оборудование с различной величиной пор, можно решать любые технологические проблемы, а именно предочистку воды, ее умягчение и обессоливание.

Сравнительная характеристика мембранной технологии очистки воды

Для того чтобы достоинства современной технологии очистки воды стали очевидны, сравним эксплуатационные расходы по каждой из технологий.

Предварительная очистка воды

В состав установки предочистки входит осветлитель с реагентным хозяйством (известковым, коагулянтным и флокулянтным), подогреватели исходной воды, баки сбора осветлённой воды, дозаторы известки коагулянта и активатора коагуляции, насосы возврата в осветлитель промывочной воды механических фильтров и баки сбора этой воды. Технология предполагает использование металлоемкого и энергоемкого оборудования с образованием большого количества (до 10 %) высокощелочных зашламленных вод, сброс которых без очистки недопустим. Также необходимы тонны реагентов, большое количество теплоты (подогрев воды осуществляется до температуры 30–35 °С) и электроэнергии. В данной технологии процессы только частично автоматизированы. Качество обработанной воды зависит не только от вышеперечисленных факторов, но и от качества исходной воды, размера доз коагулянта и известки, обеспечения параметров рН среды, порядка ввода реагентов в обрабатываемую воду, а также от сезонных колебаний качества обрабатываемой воды [2].

Большим недостатком традиционной установки предварительной очистки воды является громоздкость складских отапливаемых помещений. При увеличении производительности необходимо устанавливать дополнительное оборудование, за счёт чего дополнительно расширяется реагентное хозяйство.

Достоинством технологии является снижение жесткости воды, что снижает расход кислоты на ее деминерализацию и расход поваренной соли на умягчение.

Технология ультрафльтрации не требует реагентов, специального подогрева воды, постоянства расхода и температуры, не зависит от сезонных колебаний качества воды; оборудование работает в автоматическом режиме. Качество обработанной воды постоянное. Оборудование компактное, изготовлено из полимерных материалов, не нуждается в антикоррозионной защите, компактно, может быть смонтировано в два и более яруса, так как высота элементов менее 2 м.

Ультрафльтрация воды

Ультрафльтрация подготавливает воду для дальнейшей деминерализации, заменяя стадии известкования с коагуляцией и дополнительного фильтрования. Ультрафльтрация является лучшим вариантом подготовки воды для обратного

осмоса и деминерализации, так как при этом методе из воды удаляются не только опасные коллоидные соединения, но также железо и механические примеси. Обратные промывки мембран проводятся при небольшом перепаде давления, что позволяет удалять задержанные взвеси за счет изменения направления потока, что приводит к уменьшению расхода воды на собственные нужды (2–5 %). Данная технология характеризуется тем, что содержание взвешенных веществ в воде не превышает ПДК, за счёт чего сбросные воды могут либо повторно использоваться, либо сбрасываться в канализацию [2].

У ультрафильтрации есть и недостаток: она не позволяет изменить жесткость воды. Однако ультрафильтрация может использоваться не только для водоподготовки, но и для систем оборотного водоснабжения, очистки конденсата, сточных вод, а также для подготовки питьевой воды.

Умягчение воды

Технология умягчения воды представляет собой фильтрацию на ионообменных фильтрах, загруженных полимером – катионитом. Для избавления от жесткости воды катионит обрабатывается раствором соли, что дополнительно требует установку солевого хозяйства. В процессе поглощения катионов жесткости катионит теряет свои обменные свойства, и для их восстановления его вновь обрабатывают солью. Сбросные воды состоят из магния, натрия и хлоридов кальция, которые хорошо растворяются в воде. Утилизировать такие стоки невозможно, поэтому для достижения требуемого ПДК сбросной воды их многократно разбавляют. А это приводит к увеличению водопользования и эксплуатационных расходов [2].

Альтернативой ионообменному умягчению воды служит мембранный метод – это нанофильтрация, при которой ионы не замещаются, а задерживаются порами материала. Для предотвращения образования отложений солей двух- и более валентных ионов в порах мембран в обрабатываемую воду вводится экологически безопасный реагент – антискалант.

Для увеличения производительности нанофильтрующей установки необходимо увеличить количество фильтрующих элементов.

Обессоливание воды

Ионообменное обессоливание воды представляет собой наличие катионитовых и анионитовых фильтров, для которых обязательно применение кислот и щелочей для восстановления их обменной способности. Также для данного метода очистки необходимо наличие соответствующего складского хозяйства и обеспечения антикоррозионной защиты оборудования. Расход кислоты и щелочи на регенерацию в 2–2,5 раза выше эквивалентного количества удаленных ионов. Сточные воды агрессивны и содержат большое количество солей, для нейтрализации которых необходимы специальные очистные сооружения. Образующиеся в результате нейтрализации шламы обезвоживаются, а если нет специального оборудования для обезвоживания они сбрасываются нашламоотвал [2].

Обратноосмотическая технология обессоливания воды, как и нанофильтрационная, предназначена для задержания ионов порами, размеры которых меньше размера атомов одновалентных ионов.

Отличие обратноосмотической технологии от других – это потребность в более высоком давлении воды из-за небольшого размера пор и достаточно высокого качества обрабатываемой воды по содержанию в ней взвешенных веществ, коллоидных соединений, железа и жесткости.

Преимущества обратноосмотической технологии по сравнению с традиционной схемой двухступенчатого обессоливания:

- применения небольшого количества реагентов, необходимых только для химической промывки фильтрующих элементов;
- не допускается образование высокоминерализованных сточных вод из-за отсутствия применения большого количества реагентов для регенерации;
- исключается необходимость в нейтрализации сбросных сточных вод;
- имеем более высокую степень удаления из обрабатываемой воды органических соединений и коллоидной кремнекислоты, чем при ионном обмене;
- имеем небольшое количество обслуживающего персонала;
- маловероятность сбоев, вызванных человеческим фактором;
- компактность установок;
- ненужность антикоррозионной защиты оборудования.

Недостатки данной технологии – возможность образования большого количества сбросных вод (до 30 %). Однако концентрация солей в сбросных водах обычно не превышает ПДК, что позволяет сбрасывать их в промливневую канализацию. Если применять умягчение перед обратным осмосом сбросные воды могут быть утилизированы [2].

Возможности и перспективы использования мембранных технологий

Мембранное оборудование можно использовать совместно с ионообменным – это позволит исключить негативные факторы каждой технологии. Следовательно, замещение водоподготовительных установок на мембранные технологии обеспечивает высококачественную обработку воды, экологическую чистоту, минимальные эксплуатационные и строительные затраты.

Исходя из расчетов, выполненных ведущими компаниями, занимающимися водоподготовкой, можно сделать вывод, что рост удельной стоимости опреснения методом обратного осмоса практически не зависит от величины минерализации обрабатываемой воды, при условии, что она превышает 150 мг/дм³. Для водоподготовительных установок в Республике Беларусь нормой качества минерализационной воды составляет 300–400 мг/дм³ [2].

В системе «Белэнерго» мембранные технологии появились в 2006 году на Осиповичской мини-ТЭЦ, работающей на местных видах топлива. На сегодняшний день на Осиповичской мини-ТЭЦ эксплуатируются четыре обратноосмотических установки. Как показала практика, установки обратного осмоса нуждаются в тщательной предварительной подготовке воды, что может быть обеспечено применением ультрафильтрации [2].

Для внедрения отечественных мембранных установок в соответствии с Государственной научно-технической программой «Энергетика-2010»

Институтом физико-органической химии НАН Беларуси совместно с ОАО «Белэнергоремналадка» выполнена работа по разработке технологии и оборудования для ультрафильтрационной очистки природных вод и конденсатов. Исследовательские и конструкторские работы были завершены разработкой головного образца автоматизированной установки ультрафильтрации производительностью 30 м³/ч, изготовление которой осуществлялось в ОАО «Белэнергоремналадка». Завершающим этапом явилась организация производства автоматизированных установок ультрафильтрационной очистки на площадях ОАО «Белэнергоремналадка».

Литература

1. Автоматизация водоподготовительных установок и управления водно-химическим режимом ТЭС справочное пособие / Л.М. Живилова, В.В. Максимов – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 278 с.
2. Энергетическая стратегия: научно-практический журнал / учредители: Министерство энергетики Республики Беларусь, НПРУП «Энергетическая стратегия», 2007.

УДК 621.044.96

**УСЛОВИЯ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

Гапеев К.Н., Пантелей Д.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Основой турбины, определяющей ее надежность и экономичность, является ее проточная часть, наиболее ответственными элементами которой являются рабочие лопатки, профили которых образуют рабочую решетку. Они работают в весьма тяжёлых условиях, подвергаясь значительным статическим, малоцикловым и динамическим нагрузкам. В связи с этим в процессе эксплуатации до сих пор ещё имеют место повреждения рабочих лопаток, в большинстве случаев носящие усталостный характер.

Условия работы рабочих лопаток

Естественно, что условия работы и конструкция рабочих лопаток сильно различаются в турбинах различных мощностей. Так же на это влияют начальные и конечные параметры пара в совокупности с расположением лопаток в проточной части.

Лопатки последних ступеней турбины испытывают колоссальные нагрузки, связанные с центробежной силой, которая может достигать 200-300 тонн в быстроходных турбинах и 500-600 тонн – в тихоходных, что делает их повреждения очень опасными. Из-за этого к лопаткам последних ступеней предъявляются очень высокие требования надёжности работы.

Начальные параметры в паровых турбинах в большинстве случаев не превосходят 540-570 градусов и 25 МПа. При этих начальных параметрах в лопатках первых ступеней цилиндра высокого давления (и цилиндра среднего давления в турбинах с промперегревом) имеет место явление ползучести, которое учитывается не только при определении уровня допустимых напряжений, но и при выборе величин радиальных зазоров между лопатками и статором турбины.

Малоцикловые нагрузки в рабочих лопатках возникают при переходных режимах работы турбины и связанным с неравномерным прогревом валопровода. При соблюдении инструкции по эксплуатации малоцикловые разрушения не должны иметь места, а их величина может быть уменьшена за счёт увеличения длительности пуска. С точки зрения повреждений от малоциклового усталости, лопатки паровых турбин находятся в более лёгких условиях, чем лопатки газовых, где возникновение значительных по величине термических напряжений неизбежно в процессе зажигания и погасания камер сгорания.

Наиболее частой причиной повреждения лопаток паровых турбин являются вибрационные нагрузки. Вибрация бывает: низкочастотная, оборотной частоты и высокочастотная.

Источником высокочастотной вибрации является генератор турбины. Возникают эти колебания из-за особенностей конструкции ротора генератора.

Вибрация оборотной частоты возникает из-за несоответствия центров тяжести отдельных сечений валопровода с осью вращения. Неуравновешенность ротора является одной из основных причин вибрации. Она может возникать на стадии изготовления (недостаточная балансировка ротора), монтажа и сборки, а также в процессе эксплуатации турбины (отрыв лопаток и бандажей). Для ликвидации этой вибрации необходима балансировка ротора турбины.

Низкочастотная вибрация связана с потерей устойчивости вращения вала на масляной пленке подшипника (она связана с автоколебаниями). Заметное влияние на возникновение масляной вибрации оказывает температура и давление масла, которая определяет его вязкость. Чем выше температура, тем лучше с точки зрения устойчивости. Однако, это приводит к снижению несущей способности масляной пленки тем самым вызывая износ вкладыша подшипника, а также преждевременному старению масла. С повышением давления уменьшается шанс возникновения низкочастотной вибрации, но также приводит к износу заливки вследствие увеличения толщины масляной пленки.

Причинами усталостных повреждений лопаток паровых турбин могут явиться резонансные, срывные или автоколебания. Резонансные колебания кратны (в целое число раз больше) числу рабочих оборотов, а причиной их возникновения могут явиться как конструктивные (парциальный подвод, пара, отборы и т.д.), так и технологические факторы (различия в шагах, горлах, толщине кромок сопловых лопаток и т.д.), вызывающие неравномерность параметров потока по окружности колеса. Вращающиеся в неравномерном потоке рабочие лопатки подвержены возмущающим нагрузкам, частоты которых равны или кратны частоте вращения ротора. В случае совпадения собственных частот рабочих лопаток с частотами возмущающих сил возникает резонанс, который негативно влияет на усталостную прочность лопаток.

Помимо этого, рабочие лопатки испытывают напряжение парового от сил парового потока, преобразующего потенциальную энергию пара в механическую энергию вращения ротора. Увеличив размеры поперечных сечений лопаток можно уменьшить напряжения парового изгиба, что, правда, вызывает как увеличение центробежных сил лопаток, так и осевых размеров ротора.

Также лопатки в зонах низкого давления подвергаются эрозии и коррозии, что не только приводит к местному ослаблению поперечных сечений лопаток, но и существенно снижает их конструктивную усталостную прочность и увеличивает опасность усталостных повреждений.

Конструкции рабочих лопаток паровых турбин

В зависимости от положения в проточной части и параметров работы турбины изменяется конструкция лопатки, но при этом основные элементы остаются неизменными. Таким образом основными конструктивными элементами лопатки является профильная часть, благодаря которой при прохождении потока пара через рабочие лопатки образуется разность давлений, в результате которой потенциальная энергия потока преобразуется в механическую энергию вращения ротора, и хвостовая часть, служащая для крепления лопатки к диску или ротору. Также рабочие лопатки паровой турбины

могут еще соединяться различными конструкциями, повышающими надежность и экономичность работы.

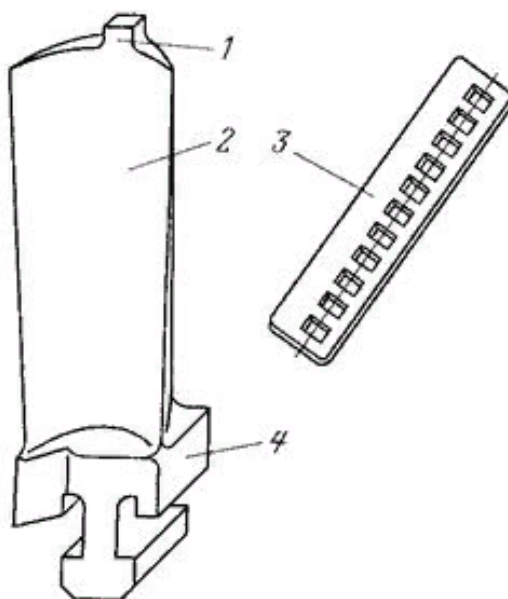


Рисунок 1 – Конструкция простейшей лопатки

Простейшая лопатка паровой турбины состоит из рабочей части (2) и хвостовика (4). Рабочая часть имеет профили, которые с помощью хвостовиков устанавливаются на ротор и образуют рабочие каналы. Для крепления лопаточного бандажа (3) на торце лопатки предусмотрен шип, который соответствует отверстиям в бандаже. Шипы расклепывают или сваривают в результате чего лопатки на диске оказываются набранными в пакеты.

Типичные конструкции лопаток паровых турбин показаны на рисунке 1: на рисунке 1а) изображена лопатка постоянного сечения, на рисунке 1б) – лопатка среднего давления, на рисунке 1в) – бандажированная лопатка последней ступени мощной турбины.

На рисунке 1а) в периферийном сечении лопатки показан шип для крепления клёпаного бандажа, на рисунке 1б) – отверстие для установки проволочной связи, на рисунке 1в) – бандажная полка, изготовленная заодно с профильной частью лопатки.

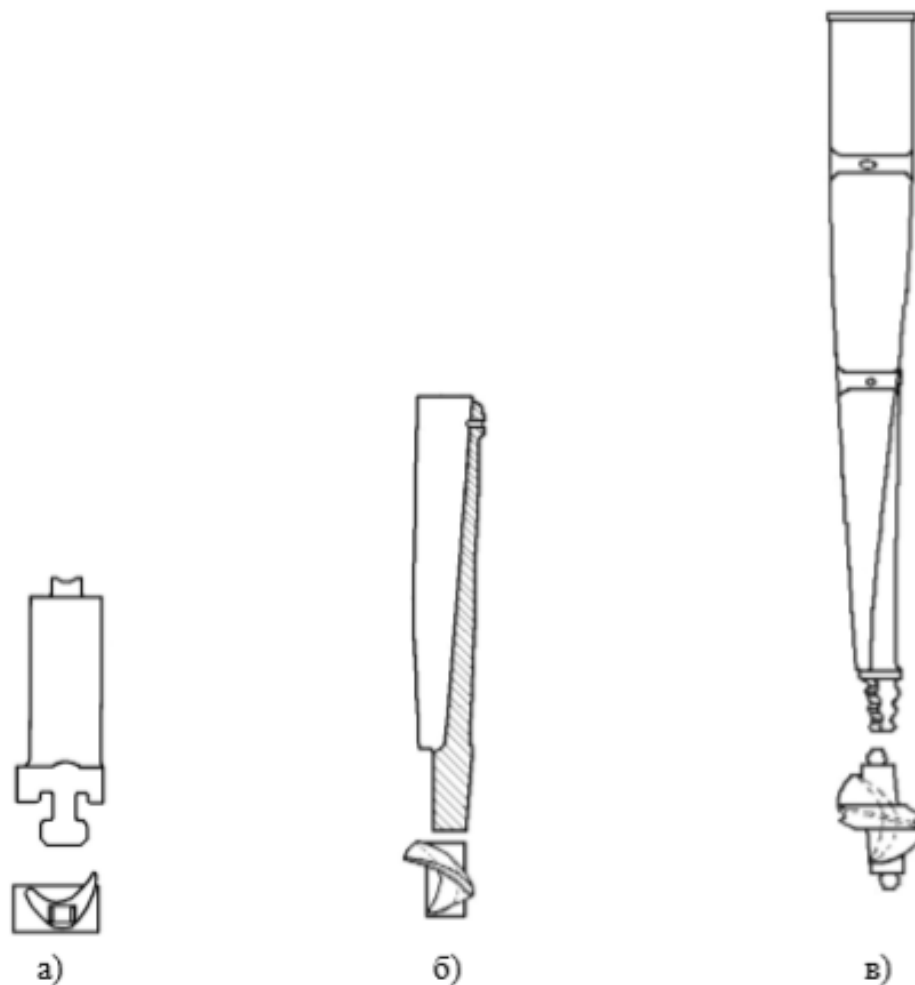


Рисунок 2 – Типичные конструкции лопаток паровых турбин

Выбор типа хвостовика определяется нагрузками, действующими на лопатку, которые воспринимаются хвостовиком и передаются им на диск. Типы хвостовиков показаны на рисунках 3 и 4.

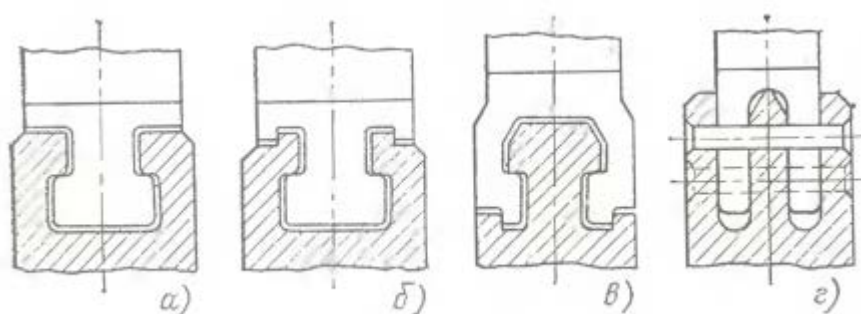


Рисунок 3 – Хвостовики рабочих лопаток: а – Т-образный без заплечиков; б – Т-образный с заплечиками; в – грибовидный одноопорный; г – вильчатый

Простейшими конструкциями хвостовика являются Т-образный и одноопорный грибовидный хвостовики. Для уменьшения изгибающих напряжений в хвостовике и щеках диска на лопатках или диске выполняются заплечики. Для установки лопаток на диск предусмотрены специальные конструкции с замковыми колодцами соответствующие типу хвостовика лопаток. Преимуществом вильчатого хвостовика является то, что замена лопаток

с хвостовиком этого типа осуществляется без полного разбора лопаточного диска.

С возникновением больших нагрузок на лопатки возникает необходимость в более сложных конструкциях хвостовиков. Таким образом хвостовики выполняют многоопорными или с большим числом вилок (рисунок 4).

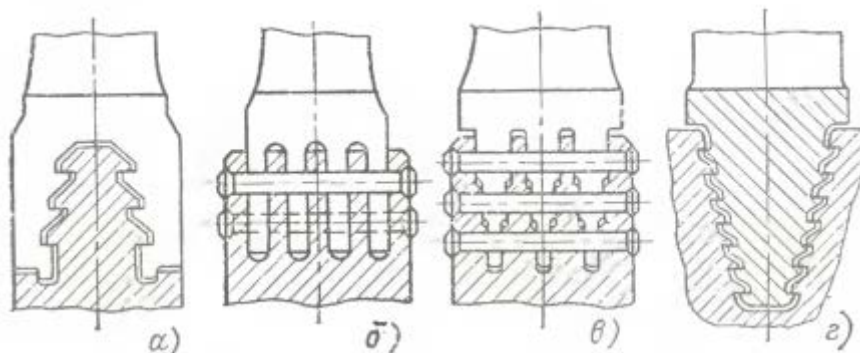


Рисунок 4 – Хвостовики повышенной несущей способности: а – грибовидный трехопорный; б – вильчатый; в – вильчатый равнопрочный; г – елочный с торцевой заводкой.

Наиболее надежными считаются хвостовики елочного типа, которые применяются для самых нагруженных ступеней.

Рабочие лопатки паровых турбин соединяются в пакеты бандажами или проволочными связями. Это делается для повышения вибрационной надежности и уменьшения утечек пара через периферийную часть. Для лопаток последних ступеней в качестве бандаж используется проволока, проходящая через специальные отверстия в профильной части, которые впоследствии запаиваются, либо устанавливаются свободно. В последнем случае проволока под действием собственной центробежной силы прижимается к лопаткам и является гасителем колебаний лопаток (демпферная связь).

Таким образом рабочие лопатки паровой турбины являются важнейшим элементом, благодаря которому происходит преобразование энергии парового потока в механическую энергию вращения ротора, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию в генераторе. Поэтому от прочности и конструктивных особенностей лопаток зависит экономичность и безаварийность работа турбины.

Литература

1. Боришанский К.Н. Колебания рабочих лопаток паровых турбин и меры борьбы с ними. Санкт-Петербург, 2011.
2. Жирицкий Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. Машиностроение. Москва, 1968.

УДК 621.039.53

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСОВ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

Дячёк О.А.

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

Корпус ядерного реактора является одной из основных преград для выхода продуктов деления во внешнюю среду. Ввиду этого сохранение целостности корпуса считается одной из важных задач в любых штатных и нештатных режимах работы АЭС.

Целью работы является изучение разрушающих методов контроля корпусов реакторов ВВЭР посредством образцов-свидетелей.

Характеристики охрупчивания материала снижаются из-за продолжительного воздействия рабочих температур (тепловое охрупчивание) и нейтронного облучения (радиационное охрупчивание). Радиационный ресурс материала корпуса во многом определяет эксплуатационный ресурс всей АЭС.

В настоящее время есть 3 способа получить информацию об облученных материалах корпуса реактора:

1. В исследовательских реакторах образцы подвергаются предварительному ускоренному облучению. Определяются механические свойства, изучается фазовое структурное состояние материалов.

2. Стандартные образцы-свидетели облучаются непосредственно в реакторах АЭС.

3. Исследуют материалы выводимых из эксплуатации корпусов реакторов [1].

В связи с тем, что предсказать радиационное охрупчивание материалов при продолжительном воздействии невозможно осуществляются программы контроля по образцам-свидетелям.

Образцы-свидетели используются для мониторинга: изменений механических характеристик металла (временное сопротивление, относительное сжатие и удлинение, предел текучести), характеристик сопротивления хрупкому разрушению (критическое раскрытие трещин или вязкость разрушения, критическая температура хрупкости), характеристик локальной и сплошной коррозии (коррозия под напряжением, язвенная коррозия, межкристаллитная).

В реактор загружают шесть наборов облучаемых образцов-свидетелей. Они помещаются у внутренней стенки шахты реактора. Набор содержит из пять цилиндрических контейнерных сборок. В первых трех наборах контейнеры размещаются в два яруса. Для определения текущего состояния металла используются образцы верхнего яруса. Для прогнозных оценок используются образцы нижнего яруса [4].

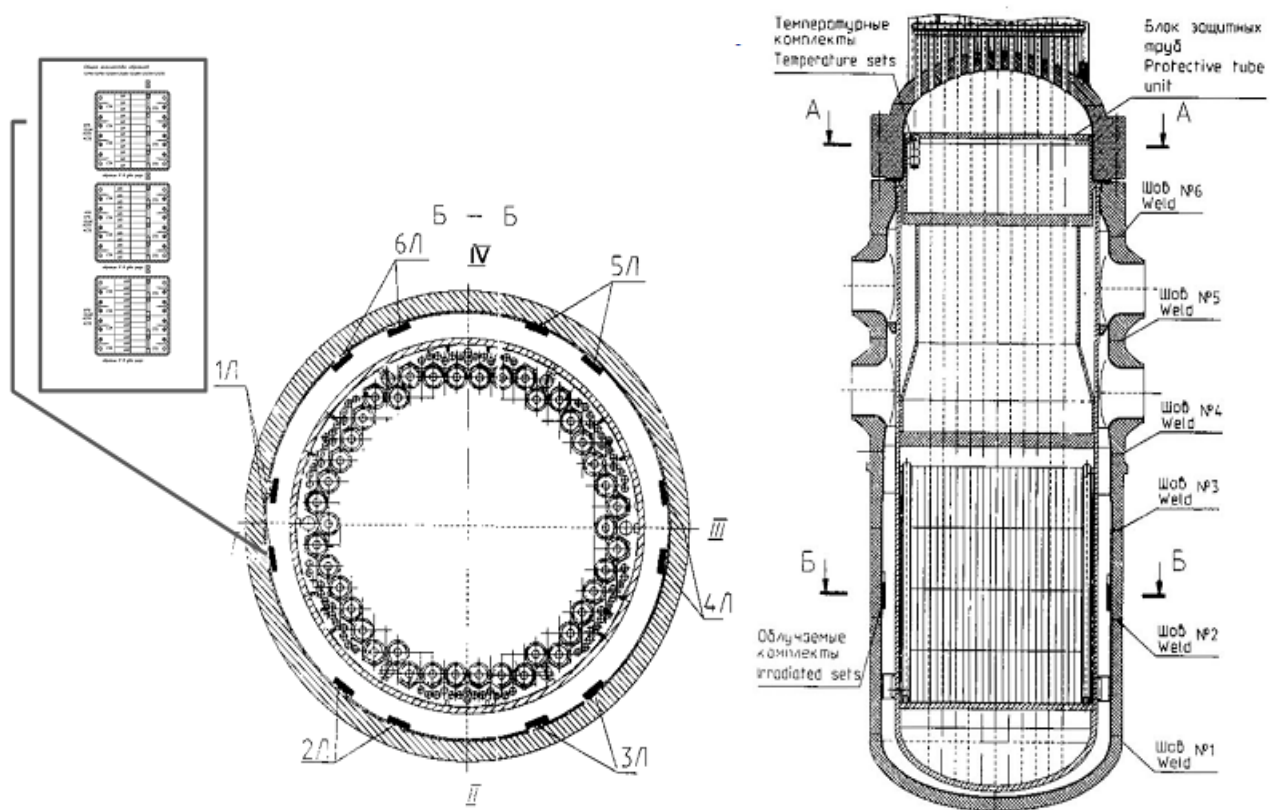


Рисунок 1 – Месторасположение образцов-свидетелей в реакторах типа ВВЭР

Помимо образцов-свидетелей загружают в реактор 6 наборов «температурных» образцов, которые размещаются на внутренней поверхности опорной обечайки блока защитных труб. «Температурные» образцы используются для оценки изменений свойств металла, связанных с эффектом старения при продолжительном воздействии температур и нейтронного облучения.

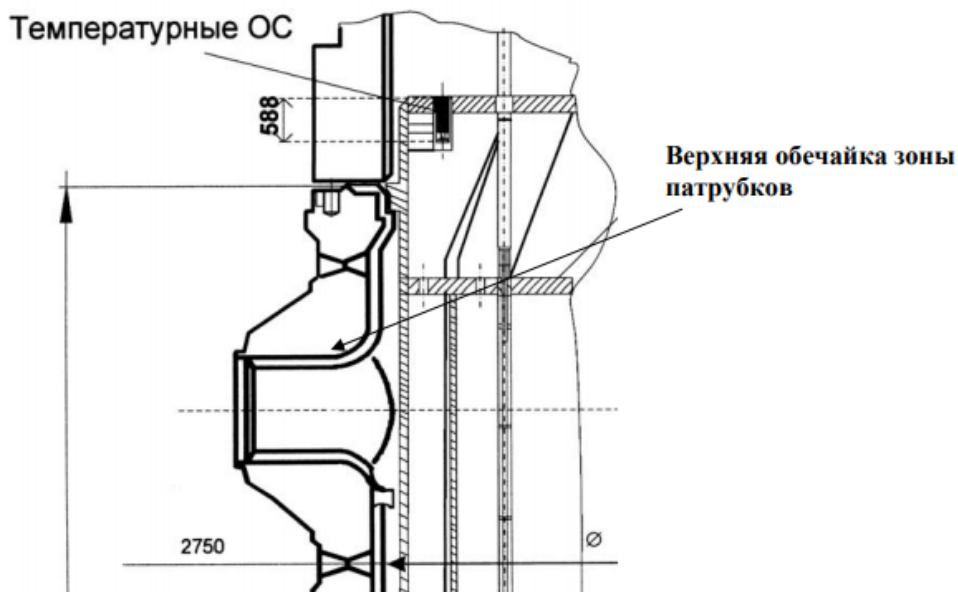


Рисунок 2 – Месторасположение температурных образцов-свидетелей в корпусе ВВЭР

Контейнеры с образцами располагаются на внутренней стенке корпуса реактора в районе активной зоны. Контейнеры фиксируются в специальных держателях, что дает возможность вынимать и вкладывать дополнительно новые образцы [4].

На рисунке 3 приведена фотография контейнерной сборки до установки на корпус реактора.

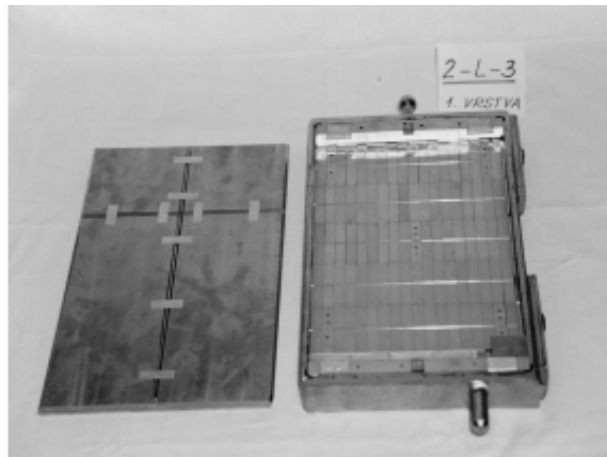


Рисунок 3 – Контейнерная сборка до установки на корпус реактора

На рисунке 4 приведена фотография размещения двух контейнеров на стенке корпуса реактора [2].

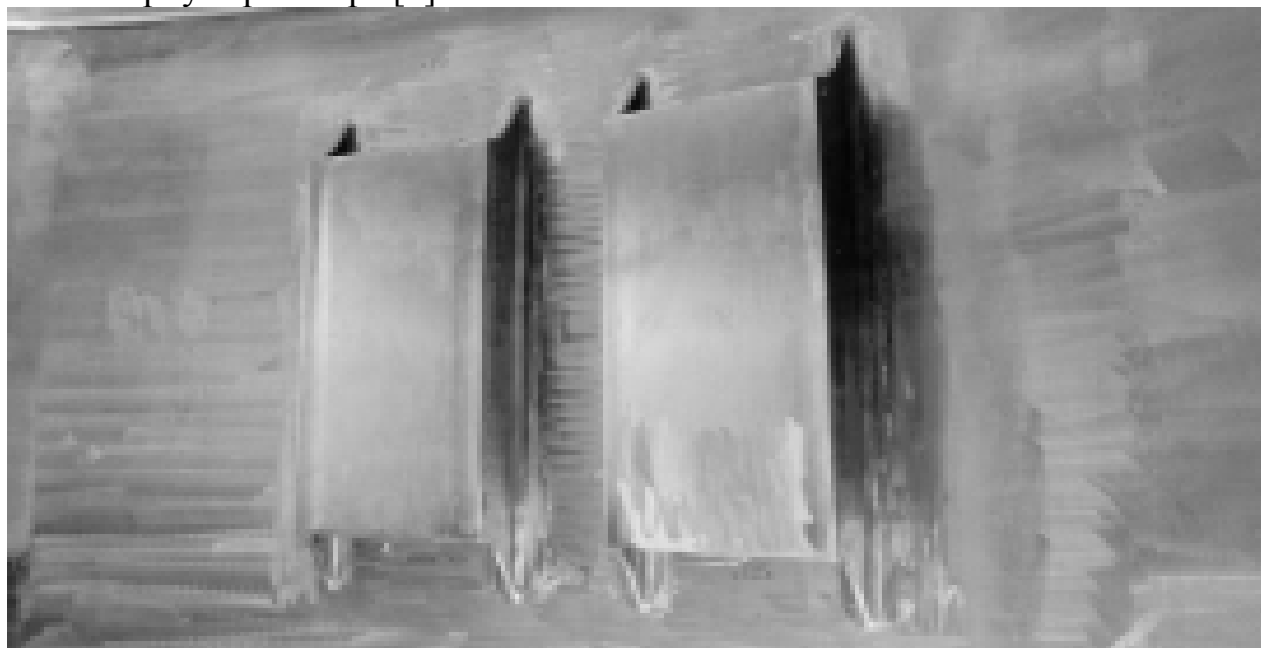


Рисунок 4 – Размещение двух контейнеров на стенке корпуса реактора

При каждой выгрузке топлива извлекают минимум:

- 6 образцов для определения механических характеристик (3 при комнатной температуре и 3 при расчетной);
- 15 образцов для нахождения критической температуры хрупкости;
- 15 образцов для нахождения критического раскрытия трещины или вязкости разрушения;
- 15 образцов для изучения характеристик коррозии.

Требования к выгрузке образцов-свидетелей

Облучаемые образцы-свидетели:

- первое извлечение – через 5 лет после начала работы реакторной установки;
- второе извлечение – через 9 лет после начала работы реакторной установки;
- третье извлечение – через 17 лет после начала работы реакторной установки.

Сроки выгрузки остальных наборов образцов-свидетелей устанавливаются по результатам исследования первых наборов образцов.

Температурные образцы-свидетели:

- выгружаются из блока защитных труб в период останова реактора [3].

Определение критической температуры хрупкости металла

После выгрузки образцов-свидетелей необходимо найти критическую температуру хрупкости металла. Она характеризуется энергией, которую необходимо затратить для разрушения (в качестве меры берется ударная вязкость) и видом излома образцов (мерой является величина поперечного расширения образца в зоне излома или процент вязкой составляющей в изломе).

Если в режиме эксплуатации выполняется условие $K \leq [K]_i$, то сопротивление к хрупкому разрушению считается обеспеченным. K – допустимое значение коэффициента интенсивности напряжений.

Индекс i принимается различным в зависимости от случая, принимаемого в расчетах:

- $i = 1$, если условия эксплуатации нормальные;
- $i = 2$, если нормальные условия эксплуатации нарушены;
- $i = 3$, если ситуация аварийная.

Критическая температура хрупкости T_k материала определяется по следующей формуле:

$$T_k = T_{k0} + \Delta T_T + \Delta T_N + \Delta T_F,$$

где $T_{k0} - T_k$ в начальном состоянии;

ΔT_T – сдвиг T_k из-за температурного старения;

ΔT_N – сдвиг T_k из-за циклической повреждаемости;

ΔT_F – сдвиг T_k из-за влияния потока нейтронов.

Температурный интервал выбирают при проведении испытаний. В температурный интервал должны входить следующие точки: $(T_k \pm 10)$, $(T_k \pm 20)$, $(T_k \pm 30)$ °C. Испытания проводятся в интервале температур $T_k - 10 < T < (T_k + 40)$ °C, если примерное значение T_k предварительно известно. Если примерное значение неизвестно, то рекомендуют определять значение ударной вязкости при 20 °C и анализируя полученный результат определить интервал следующих температурных испытаний. При полностью вязком изломе и низких значениях ударной вязкости – испытания проводят при повышенных температурах; в случае если излом полностью вязкий и значения ударной

вязкости высокие, то последующее испытание необходимо проводить при пониженных температурах. Если излом вязко-хрупкий необходимо увеличить температурную область испытаний и в зоне положительных, и в зоне отрицательных температур [3].

Проведение испытаний при пониженных температурах. С помощью жидкого азота или смеси жидкого азота (или сухого льда) с этиловым спиртом или ацетоном осуществляют охлаждение образцов-свидетелей. Температура кипения жидкого азота $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура замерзания этилового спирта составляет $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для ацетона $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Охлаждение образцов-свидетелей парами жидкого азота осуществляется в температурном интервале от -90 до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. С помощью термопары, помещенной в криостат с партией испытуемых образцов и зачеканенной в контрольном образце, устанавливается температура образца. С помощью термометра выполняется градуировка термопары контрольного образца. Погрешность термометра не должна превышать $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы необходимо немного переохладить для того, чтобы убедиться в стабилизации температуры. Зависимость значений температуры переохлаждения образцов-свидетелей от температуры испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость температуры переохлаждения образцов-свидетелей от температуры испытания

Температура испытания, $^{\circ}\text{C}$	Переохлаждение, $^{\circ}\text{C}$
< -60	4 – 6
$-60 \dots -40$	3 – 4
$-40 \dots +10$	2 – 3

Через 3–5 с после вынимания из криостата образец-свидетель размещают на опорах копра и испытывают.

Проведение испытаний при повышенных температурах.

В печь помещают партию с контрольным образцом и нагревают до необходимой температуры. Образцы необходимо немного перегреть для того, чтобы убедиться в стабилизации температуры. С помощью термопары, зачеканенной в контрольном образце устанавливается температура образца. Зависимость значений температуры перегрева образцов-свидетелей от температуры испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость температуры перегрева образцов-свидетелей от температуры испытания

Температура испытания, $^{\circ}\text{C}$	Перегрев, $^{\circ}\text{C}$
$+30 \dots +200$	3 – 5
$+200 \dots +400$	5 – 10
$+400 \dots +500$	10 – 15

Через 3–5 с после вынимания из печи образец-свидетель размещают на опорах копра и испытывают [5].

Обработка результатов.

Ударная вязкость определяется по формуле:

$$KCV = \frac{K}{S_0},$$

где K – работа разрушения образца;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения в зоне надреза, м².

Вязкая составляющая в изломе определяется по формуле:

$$B = \frac{S_0 - S_x}{S_0} \cdot 100\%,$$

где S_x – площадь хрупкой фазы в изломе, м².

В роли T_k принимается температура, для которой должны быть выполнены условия:

1. при T_k средневзвешенное значение KCV должно быть не менее значений, приведенных в таблице 3. Минимальные значения KCV - не менее 70% значений, приведенных таблице 4;

2. при $(T_k + 30)$ °C средневзвешенное значение KCV должно быть не менее значений, приведенных таблице 4. Минимальные значения KCV – не менее 70% значений, приведенных таблице 4, минимальное значение вязкой составляющей в изломе B – не менее 50%.

Таблица 3 – Зависимость KCV от предела текучести

Предел текучести материала при 20 °C, МПа(кгс/мм)	Ударная вязкость KCV , Дж/см ² (кгс·м/см ²)
До 304 (31) включая	29 (3,0)
304 (31) – 402 (41) включая	39 (4,0)
402 (41) – 549 (56) включая	49 (5,0)
549 (56) – 687 (70) включая	59 (6,0)

Таблица 4 – Зависимость KCV от предела текучести

Предел текучести материала при 20 °C, МПа(кгс/мм)	Ударная вязкость KCV , Дж/см ² (кгс·м/см ²)
До 304 (31) включая	44 (3,0)
304 (31) – 402 (41) включая	59 (4,0)
402 (41) – 549 (56) включая	74 (5,0)
549 (56) – 687 (70) включая	89 (6,0)

Если одно из 2 условий не выполняются на одном из испытываемых образцов, то можно провести испытания еще на трех образцах. Оценивание соответствия результатов вышеприведенным условиям производят по показаниям 5 образцов. Образец-свидетель с неудовлетворительными показателями, полученными при первом испытании исключают.

Если по крайней мере на одном образце-свидетеле при вспомогательных испытаниях получились неудовлетворительные результаты, тогда за

критическую температуру необходимо принять соседнюю температуру (более высокую). Для неё результаты испытания должны соответствовать вышеприведенным условиям [5].

Преимущества и недостатки испытаний на образцах-свидетелях.

Основные преимущества:

- Относительная равномерность облучения образцов-свидетелей.
- Возможность получения опытных данных с флюенсами, которые существенно превышают проектные значения для корпуса реактора.
- Второе преимущество дало возможность обосновать продление срока службы корпусов ВВЭР-440/213 в России и за рубежом без компенсирующих мероприятий.

Основные недостатки:

- Образцы, облученные в одном контейнере могут иметь расхождение по флюенсу нейтронов в несколько раз. Это связано с установкой образцов в местах с высоким градиентом плотности потока быстрых нейтронов.
- Высокий коэффициент опережения для ВВЭР-440 при облучении образцов по сравнению с внутренней поверхностью стенки корпуса реактора. В ВВЭР-1000 учли этот недостаток.
- Разброс получаемых из-за неудачного места извлечения образцов основного металла. Из-за этого невозможно оценить термическое старение и как следствие это приводит к сверхконсервативным оценкам радиационного охрупчивания металла корпуса реактора ВВЭР-1000 [2].

Вывод

Реализация программы образцов-свидетелей позволяет на основе комплекса материаловедческих исследований убедительно обосновать возможность продления срока службы корпуса, а также разрабатывать новые модели радиационного охрупчивания с учетом фактора времени и реальные механизмы повреждения при облучении.

Литература

1. Герасимова А. Г., Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС: учеб. пособие / А. Г. Герасимова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 272 с.
2. Николаев Ю.А., Использование образцов-свидетелей для определения термического охрупчивания материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000 / Ю.А. Николаев // Статья НИЦ Курчатовский институт [Электронный ресурс]: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2012/documents/kms2012-046.pdf> (дата доступа 21.10.2020).
3. ПНАЭ Г-008-89 Правила устройств и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных электрических станций.
4. Чернов А.А., Исследование состояния металла корпуса водо-водяных реакторов на образцах-свидетелях // Актуальные проблемы энергетики. – 2016. – С. 339-347.
5. Гольцев, В.Ю. Методы механических испытаний и механические свойства материалов / В.Ю. Гольцев [Электронный ресурс]: <https://studfile.net/preview/412137/page:16/> (дата доступа 21.10.2020).

УДК 621.175

ПРОБЛЕМЫ КОНДЕНСАТОРОВ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ерёменко М.А., Стрежик А.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

На электростанциях с сухим охлаждением вода не потребляется. Одной из возможных проблем конденсаторов с воздушным охлаждением является наличие в системе неконденсируемых, атмосферных газов и химикатов. Неконденсирующиеся газы попадают в систему через утечки и могут быть захвачены внутри трубок между входящим паром с выхлопа турбины и «обратный» паром на выходе из трубы. Наличие захваченных неконденсирующихся веществ ограничивает поток пара, в результате образуются холодные сегменты по длине металлической трубки, где конденсат может замерзнуть, поскольку он течет вниз под силой тяжести. Помимо прочего замораживания конденсата, неконденсирующиеся вещества могут ухудшить теплопередачу летом или абсорбироваться конденсатом и к коррозии материала при неправильной продувке [1].

Технологии с сухим охлаждением не столь популярны, как их аналоги по технологии мокрого охлаждения, но благодаря компромиссу между потреблением воды сокращается стоимость и производительность. Капитальные и эксплуатационные затраты включают рабочую силу, оборудование, и элементы установки, такие как вентиляторы или водоснабжение, связанные с выбором системы охлаждения.

При сопоставимой производительности цикла системы с воздушным охлаждением имеют более высокие капитальные затраты, чем системы водяных градирен из-за их большего размера и, соответственно, большей опоры конструкции. Около 12% от общего капитала завода по базовому проекту приходилось на сухую систему охлаждения по сравнению с 5% для влажной системы охлаждения [2]. В зависимости от местоположения завода и условий эксплуатации годовой стоимость системы сухого охлаждения может быть в среднем в три раза больше, чем ее влажное охлаждение.

Как упоминалось ранее, технологии сухого охлаждения не так эффективны, как технологии влажного охлаждения, проблема, которая усугубляется только при более высоких температурах окружающей среды. Воздух имеет плохие теплопередающие свойства по сравнению с водой.

При атмосферном давлении вода имеет удельную теплоемкость более чем в четыре раза. Следовательно, необходим значительно больший расход воздуха, чем воды, для аналогичных тепловых нагрузок из конденсатора.

Теплообменник с воздушным охлаждением может быть сконструирован с большей площадью поверхности для увеличения скорости теплопередачи для компенсации его теплопередающих свойств, но при этом увеличивается стоимость и необходимая площадь земельного участка (рисунок 1) [3].

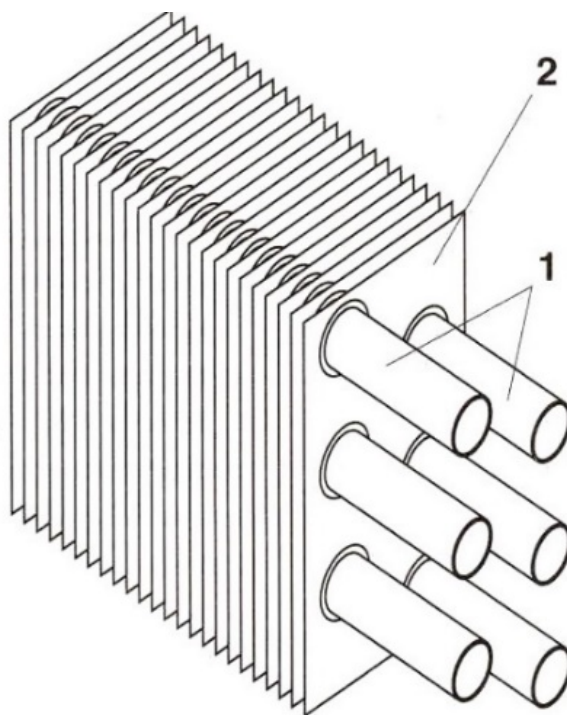


Рисунок 1 – Схема конденсатора с воздушным охлаждением:
1 – медная трубка; 2 – оробрение

На производительность теплообменников с воздушным охлаждением влияют такие условия, как температура окружающей среды, влажность, ветер, дождь, снег, град и солнечная радиация. Повышение температуры окружающей среды соответствует увеличению в противодействии турбины, снижая производительность установки. Это дополнительно ухудшается потреблением энергии, которое достигает пика в периоды высокой температуры окружающей среды. Снижение производительности силовой установки можно компенсировать увеличением общей размер конденсатора с воздушным охлаждением, но это также приводит к увеличению капитальных затрат. Предполагая изменение температуры окружающей среды с 15 до 25 °С, размер системы сухого охлаждения должен увеличиться примерно на 40% сверх базового размера, увеличивая капитал и нормированную стоимость системы более чем на 35% [2]. Снег и дождь обычно минимально влияют на производительность, но дождь может уменьшить сухость луча до температуры влажного термометра. Ветер может негативно повлиять на производительность теплообменника с принудительной тягой и воздушным охлаждением.

В результате снижения производительности вентилятора и увеличения рециркуляции горячего шлейфа. Для смягчения негативного воздействия ветра стоит поднять вентиляторную площадку на высоту или добавить проход.

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что использование конденсаторов с воздушным охлаждением в нашей стране не является целесообразным. Это требует намного больших затрат на строительство и обслуживание. Возможно, в будущем, появятся способы сделать их

использование более экономичным. В настоящее время наиболее обоснованным выбором служат водяные конденсаторы.

Литература

1. Larinoff, M., W. Moles and R. Reichhelm (1978), "Design and Specification of AirCooled Steam Condensers," Chem. Engng Vol. 22
2. Jennifer Lin .AIR-COOLED CONDENSERS FOR THERMOELECTRIC POWER GENERATION, 2016.
3. AIR-COOLED CONDENSERS [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.hvacschool.ru>

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Ерёменко М.А., Стрежик А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Энергетические ресурсы – это источники различных видов энергии, доступные для бытового использования в энергетике.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – это энергия, которую получили в результате технологического процесса. ВЭР представляет собой недоиспользованную первичную энергию или побочный продукт основного производства, который не применяется в этом технологическом процессе. Иначе говоря, вторичные энергетические ресурсы – это продукт преобразования первичной энергии.

Вторичные энергетические ресурсы делятся на три вида:

- тепловые;
- горючие;
- избыточного давления.

Рассмотрим данные виды подробнее.

1. Тепловые ВЭР – это тепловая энергия, которая образована в результате технологического процесса или работы оборудования. Она не может дальнейшем использоваться в данном технологическом процессе или агрегате. Однако она может использоваться для производства горячей воды или пара в другом технологическом процессе, или агрегате. Такие ВЭР в основном используются для отопления и горячего водоснабжения.

2. Горючие ВЭР – это отходы какого-либо агрегата или технологического процесса, использующие в качестве топлива отходы другого технологического процесса или агрегата.

3. ВЭР избыточного давления – это, как правило, тепловые отходы с повышенным давлением, которые могут использоваться для производства электрической или механической энергии.

Тепловые отходы можно использовать по трем направлениям:

- Замкнутые схемы – тепло используется для процессов, которые протекают в основных технологических процессах. Но надо отметить, что тепловые отходы, которые используют по таким схемам, нельзя относить к вторичным энергетическим ресурсам.
- Разомкнутые схемы используются для целей, не связанных с процессами, протекающими в основных технологических аппаратах.
- Комбинированные схемы отходы используются и для внешних, и для внутренних целей в технологической установке (замкнуто-разомкнутые схемы).

Замкнутые схемы утилизации

Основное направление – предварительный подогрев компонентов горения в этом же технологическом процессе. Предварительный подогрев компонентов горения, например, воздуха, осуществляется за счет теплоты уходящих (дымовых) газов. Повышение температуры воздуха приводит к снижению

расхода топлива. Наиболее широко для этих целей используются регенераторы, рекуператоры, воздухоподогреватели.

Рекуператоры

Рекуператоры – это теплообменные устройства, которые обычно изготавливаются из металлических или керамических материалов, и применяются для утилизации отработавших газов средней и высокой температуры. В этой технологии горячие выхлопные газы проходят через серию металлических трубок или каналов, по которым поступает воздух из атмосферы. В результате рекуператор предварительно нагревает входящий газ, который затем снова поступает в систему. Широко распространена установка на парогенераторах разной мощности.

Металлические рекуператоры используются для низких и средних температур, тогда как рекуперация тепла при высоких температурах лучше подходит для керамических рекуператоров. Рекуператоры в основном передают тепло входящему газу на основе конвекции, излучения или комбинации излучения и конвекции.



Рисунок 1 – Радиационный рекуператор

Регенераторы

Регенераторы передают тепло от горячего газа к холодному газу, сохраняя отходящее тепло в материале с высокой теплоемкостью. Система состоит из камеры, которая используется как связующее звено между горячим и холодным воздухом, которое забирает тепловую энергию с горячей стороны, накапливает ее и передает ее холодной стороне. Регенераторы широко распространены на электрических станциях, представляют собой поверхность нагрева, которая при ее вращении омывается попеременно то дымовыми газами, нагреваясь, то воздухом, охлаждаясь.

Регенераторы подходят для высокотемпературных применений. Регенераторы особенно подходят для применений с грязными выхлопными

газами, однако они могут быть очень большого размера и иметь очень высокие капитальные затраты, что является серьезным недостатком технологии.

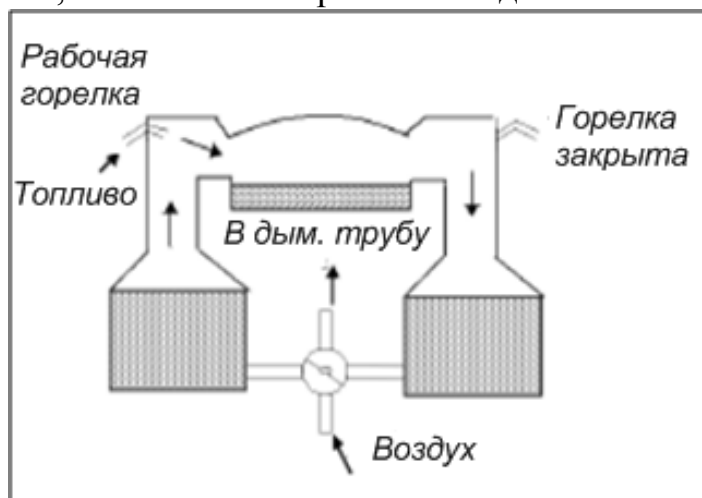


Рисунок 2 – Схема регенеративной печи

Котлы-утилизаторы

Котлы-утилизаторы состоят из нескольких водяных труб, расположенных параллельно друг другу по направлению отвода тепла из системы. Система подходит для рекуперации тепла от выхлопных газов средней и высокой температуры и используется для выработки пара на выходе. Затем пар можно использовать для выработки электроэнергии или направить обратно в систему для рекуперации энергии.

Например, на электростанции, работающей на угле, тепло, выделяемое в процессе сгорания после выхода из камеры сгорания, имеет температуру приблизительно 1000 °С. Использование котла-утилизатора в этом случае позволяет утилизировать и использовать тепло топочного газа для испарения текучей среды и производства пара, который можно использовать для выработки энергии с помощью турбин и генераторов.

Давление и скорость производства пара в основном зависят от температуры отходящего тепла. Если отходящего тепла недостаточно для того, чтобы система производила необходимое количество пара, в систему можно добавить дополнительную горелку или дополнительную горелку в отработавших газах, чтобы компенсировать это.

Котлы-утилизаторы также могут быть объединены с другим оборудованием для утилизации отработанного тепла.

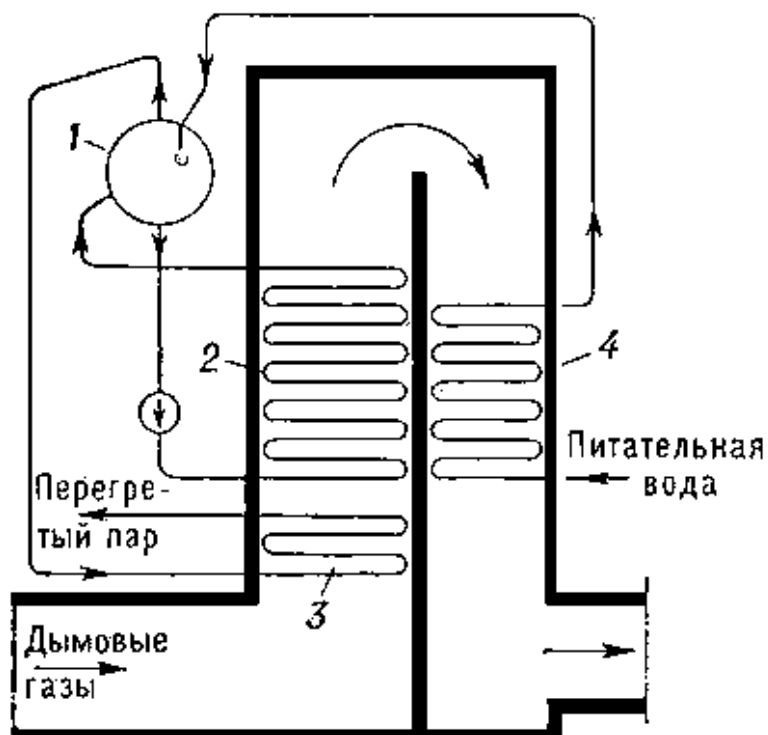


Рисунок 3 – Котел утилизатор

Разомкнутые схемы утилизации

Обычно используются для утилизации низкотемпературного отходящего тепла. Большое количество промышленных тепловых отходов находятся в низкотемпературном диапазоне. В случае использования в качестве тепловых отходов дымовых газов, тепло может быть получено при конденсации водяного пара, который находится в газах, при его охлаждении до более низких температур. Обычно охлаждение осуществляют так, чтобы избежать конденсацию газов и осаждения коррозионных веществ на теплообменных поверхностях. Такие устройства: экономайзеры, контактные рекуператоры.

Экономайзеры

Для нагрева жидкостей в основном используются экономайзеры или теплообменники с оребренными трубами, которые рекуперировать отходящее тепло от низкого до среднего уровня. Система состоит из трубок, покрытых металлическими ребрами для увеличения площади поверхности поглощения тепла и скорости теплопередачи.

Система расположена в канале, по которому проходят отходящие выхлопные газы, и поглощает отходящее тепло, позволяя горячим газам проходить через различные секции, покрытые оребренными трубами. Жидкость проходит через трубки и забирает тепло от ребристых трубок. Затем горячая жидкость подается обратно в систему, максимизируя и улучшая тепловой КПД. Экономайзер может повысить эффективность на 1% на каждые 5 °С снижения температуры дымовых газов. Экономайзеры регенерируют отходящее тепло и повышают эффективность системы за счет предварительного нагрева жидкости в системе, такой как питательная вода в парогенераторе или котле, поэтому для достижения температуры кипения требуется меньше энергии.

Конденсационный и неконденсирующий типы в основном используются для повышения эффективности котельных систем, тогда как другие типы обычно используются на тепловых электростанциях и крупных технологических установках для рекуперации отработанного тепла из дымовых газов.

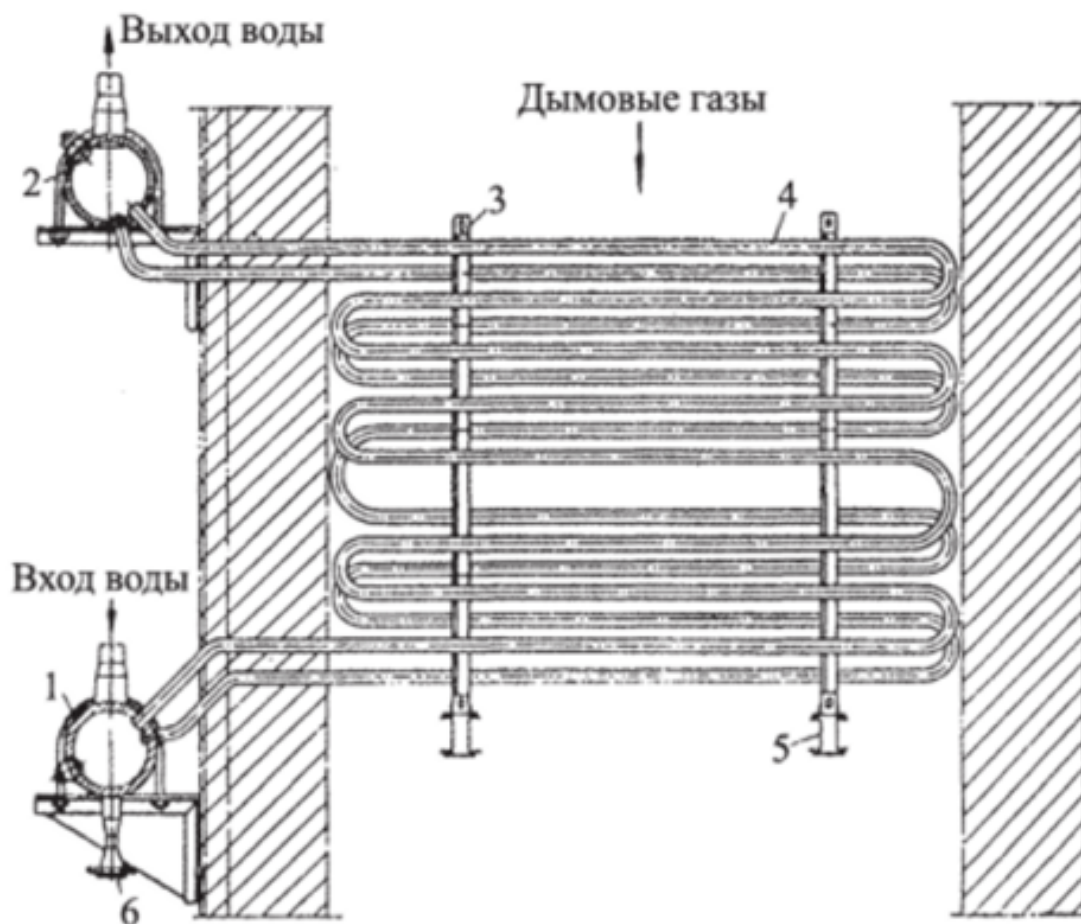


Рисунок 4 – Водяной экономайзер

Подогреватели воздуха

Подогреватели воздуха в основном используются для рекуперации тепла выхлопных газов, а также для применений с низкими и средними температурами. Эта система особенно полезна там, где необходимо предотвратить перекрестное загрязнение в процессе. Такие применения могут включать выхлопы газовых турбин и рекуперацию тепла из печей, печей и паровых котлов.

Предварительный нагрев воздуха может быть основан на двух различных конструкциях: пластинчатом и тепловом. Пластинчатый тип состоит из параллельных пластин, расположенных перпендикулярно входящему входу холодного воздуха. Горячий отработанный воздух подается в каналы между пластинами, передавая тепло пластинам и создавая горячие каналы, через которые проходит холодный воздух.

Комбинированная схема утилизации

Простым примером будет являться установка, включающая в себя низкотемпературный экономайзер и воздушно-водяной теплообменник.

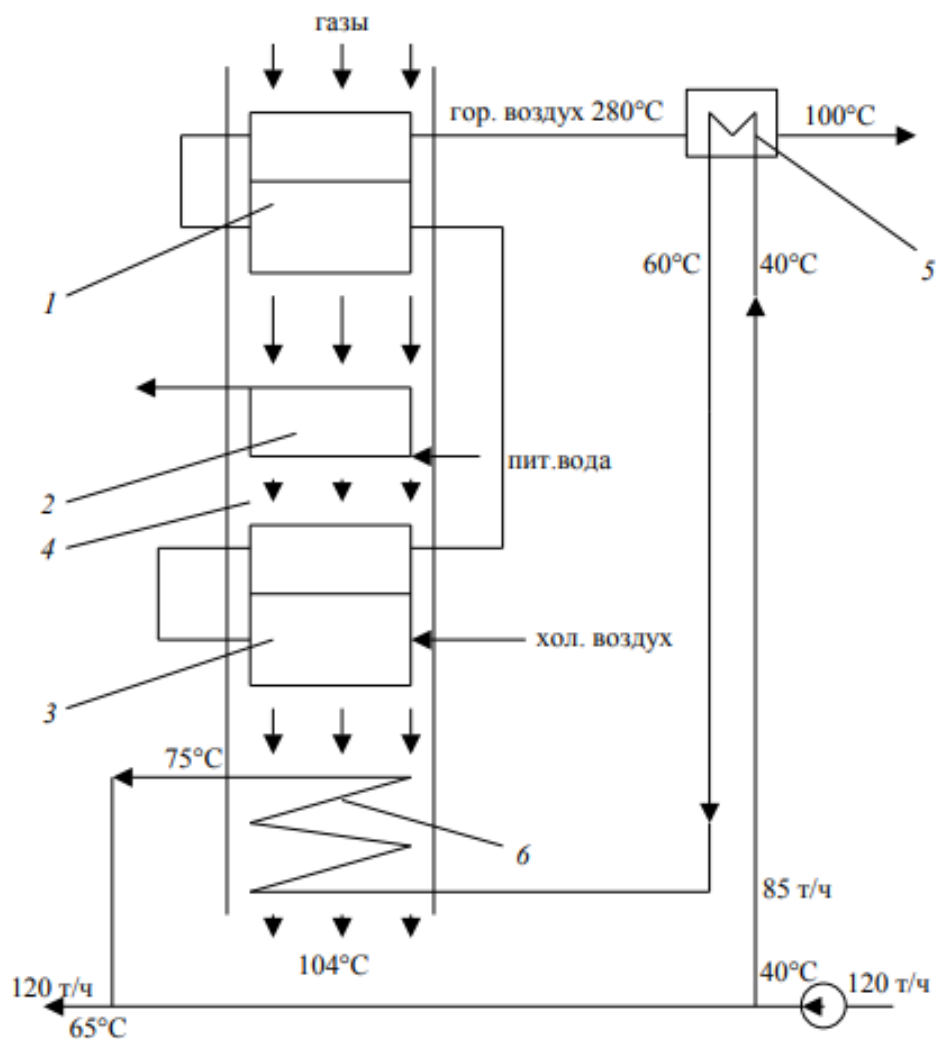


Рисунок 5 – Схема движения теплоносителя в комбинированной установке:
 1 – воздухоподогреватель 2-ой ступени, 2 – экономайзер питательной воды, 3 – воздухоподогреватель 1-ой ступени, 4 – газоход котла, 5 – воздухо-водяной теплообменник

Таким образом, рекуперация отходящего тепла в промышленности включает методы сбора и повторного использования тепла промышленных процессов, которые можно использовать для получения полезной энергии и снижения общего энергопотребления, это может значительно уменьшить затраты начиная с топлива, а заканчивая фильтрами для очистки дымовых газов.

Литература

1. Ивашенко Е.Ю. Кафедра Юнеско «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии», 2014.
2. Waste heat recovery technologies and applications [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com>

УДК 621.321

**РАСХОЛАЖИВАНИЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН
НЕБЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Иванова К.С., Михалчёнок В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Проведение ремонтных работ на остановленных турбоустановках возможно только после остывания наиболее нагретых их элементов до температуры 150–170°C, при которой разрешается отключение валоповоротного устройства и прекращение подачи масла на подшипники турбин. Естественное остывание металла наиболее нагретых частей цилиндра высокого давления (ЦВД) обычно занимает 100 ч и более в зависимости от конструкции турбины, ее мощности и параметров рабочей среды [1].

Для сокращения продолжительности остывания турбин при выводе их в плановый или аварийный ремонт целесообразно использовать принудительное (ускоренное) расхолаживание. Эффективность принудительного расхолаживания в значительной степени зависит от выбранной технологии.

В настоящее время применяются следующие способы ускоренного расхолаживания турбин с регулируемыми отборами типа Т и ПТ [1]:

расхолаживание под нагрузкой;

расхолаживание низкопотенциальным паром от стороннего источника, которым обычно является коллектор собственных нужд или коллектор производственного отбора;

расхолаживание турбины атмосферным воздухом.

Для теплофикационных турбин, имеющих поперечные связи, ускоренное расхолаживание под нагрузкой производится по следующим технологиям [1]:

с использованием паропромывочного устройства для снижения температуры пара;

с подмешиванием низкопотенциального пара от стороннего источника и понижением его температуры впрыском питательной воды.

Обе эти технологии достаточно подробно исследованы экспериментально [2, 4] и позволяют производить расхолаживание до $t_{\max} = 180 - 190^{\circ}\text{C}$ за 7 – 10 ч в зависимости от конструкции турбины.

Однако они имеют следующие недостатки [1]:

их использование невозможно в случае аварийного останова, связанного с генератором или турбиной;

велика вероятность заброса воды в проточную часть при неправильных действиях персонала.

Если ограничиться расхолаживанием только за счет подвода низкопотенциального пара без понижения его температуры с помощью впрысков, то добиться полного расхолаживания не удастся; при этом температура наиболее нагретых частей остается на уровне $t_{\max} = 230 - 250^{\circ}\text{C}$.

В случае аварийного останова обычно используют расхолаживание сторонним паром или воздухом.

Расхолаживание паром из магистрали собственных нужд осуществляется следующим образом [4].

После отключения генератора от сети закрывают главную паровую задвижку (ГПЗ) и подают пар от магистрали собственных нужд через байпасную линию ГПЗ при полностью открытых регулирующих клапанах. Частоту вращения ротора обычно устанавливают на уровне 500–800 мин⁻¹ и поддерживают на этом уровне до конца расхолаживания. После снижения температуры ЦВД до 250–300 °С для дальнейшего расхолаживания к пару из коллектора собственных нужд подмешивают пар от деаэраторов с температурой около 160 °С, что позволяет снизить температуру до 180–190 °С.

По данным [4] для расхолаживания турбины ПТ-50-130/7 по приведенной технологии, потребовалось около 12 ч.

Недостаток этой технологии состоит в том, что расход пара ограничен из-за необходимости поддержания заданной частоты вращения, и это определяет время расхолаживания. Кроме того, в начальный, период расхолаживания из-за высокой разницы температур металла ($t_{мет} = 430–480$ °С) и охлаждающего пара ($t_n = 230–280$ °С) возможно возникновение высоких термических напряжений.

Воздушное расхолаживание может применяться как при аварийном, так и при плановом останове. Эта технология позволяет обеспечить глубокое расхолаживание турбины до $t_{max} < 150$ °С.

В основном используют два способа воздушного расхолаживания:

- с прокачкой воздуха через проточную часть турбины компрессором;
- с прокачкой воздуха через турбину с помощью эжектора.

Эти способы по затратам времени на расхолаживание приблизительно равноценны, они обеспечивают «мягкое» (постепенное) расхолаживание, но продолжительность такого расхолаживания по сравнению с паровыми увеличивается в 2 – 3 раза из-за низких коэффициентов теплоотдачи на границе воздух – металл, что снижает эффективность воздушного расхолаживания и делает предпочтительным паровое расхолаживание.

Кроме перечисленных выше способов расхолаживания для турбин с противодавлением и для ЦВД турбин с промежуточным перегревом применяют расхолаживание низкопотенциальным паром при противоточном его движении через цилиндр и вращении турбины на валоповороте [3].

В [1] отмечается, что такая технология может быть с успехом применена для турбин типа Т и ПТ.

Для ее реализации можно использовать схему, приведенную на рисунке 1.

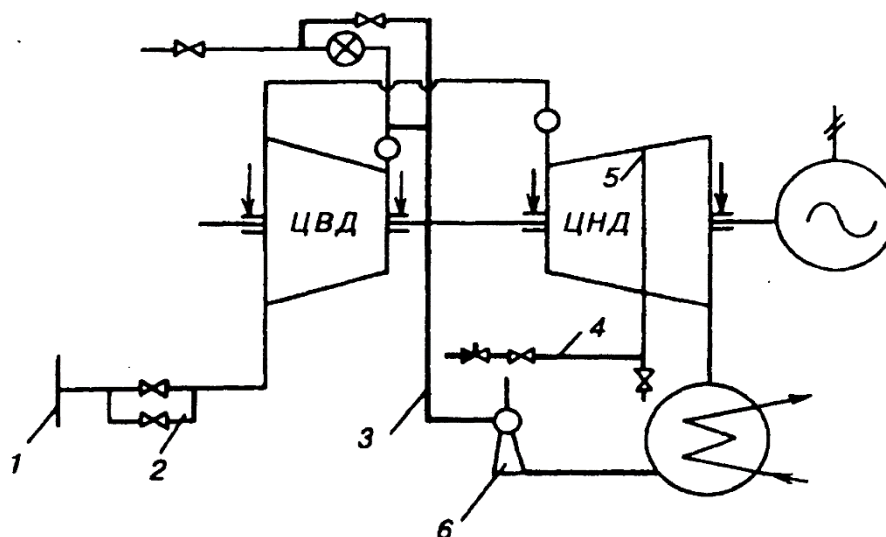


Рисунок 1 – Схема расхолаживания турбины с противоточным движением пара:
 1 – коллектор пара производственного отбора; 2 – байпас задвижки производственного отбора; 3 – дренажи перепускных труб; 4 – трубопровод подвода пара от деаэратора к регулируемому отбору; 5 – регулирующая диафрагма теплофикационного отбора; 6 – эжектор

Работа схемы осуществляется следующим образом [1].

После останова турбины без срыва вакуума и перевода ее на вращение валоповоротным устройством в проточную часть начинают подавать пар одновременно от деаэратора в трубопровод регулируемого отбора 4 перед диафрагмой 5, которая в этом случае закрыта и уплотнена, и в один из регенеративных отборов от коллектора собственных нужд 1 через байпас 2. На первом этапе расхолаживания подача пара из деаэратора служит только для создания «паровой подушки», препятствующей протечке пара коллектора собственных нужд к выхлопу турбины, а расхолаживание ведется паром от коллектора собственных нужд. Сброс пара производится в конденсатор через дренажи перепускных труб 5. Для лучшей организации противоточного движения пара через проточную часть и уменьшения утечек пара в конденсатор через неплотности в диафрагме линии сброса пара целесообразно подключить к эжекторной установке 6. По мере расхолаживания турбины начинают уменьшать расход пара из коллектора собственных нужд и увеличивать расход деаэраторного пара.

Противоточное движение пара позволяет проводить расхолаживание «мягко», без резких перепадов температуры между металлом турбины и охлаждающим агентом. Использование пара в качестве охлаждающего агента обеспечивает достаточно высокие коэффициенты теплоотдачи на границе пар – металл и высокую скорость расхолаживания.

Для турбин типа ПТ данная технология реализуется еще проще. В этом случае на первом этапе ведется расхолаживание только части высокого давления (ЧВД). Пар из производственного отбора подается через байпас задвижки на выхлоп части высокого давления при полностью закрытых клапанах части

низкого давления (ЧНД). По мере охлаждения ЧВД переводят на совместное расхолаживание ЧВД и ЧНД деаэраторным паром.

Преимуществом предлагаемой технологии является ее универсальность: она может применяться при плановых и аварийных остановах. Темп расхолаживания регулируется за счет изменения расхода пара. Противоточное движение пара исключает возможность разгона турбины, а отсутствие впрысков – заброс воды в проточную часть. Данная технология позволяет лучше управлять относительным сжатием ротора за счет подачи острого пара в первую камеру переднего уплотнения (ПКУ). В этом случае протечки высокотемпературного пара из камеры уплотнения в цилиндр практически не влияют на расхолаживание, так как сразу идут на сброс.

Литература

1. Ильин, Е.Т. Совершенствование схем и режимов расхолаживания неблочных турбин с регулируемыми отборами / Е.Т. Ильин, Б.Е. Оразбаев // Вестник МЭИ. Теплоэнергетика. Сводный том. – МЭИ, 1997. С. 135–139.
2. Кульков, Э.И. Ускоренное расхолаживание и пуск неблочных турбин отборным паром / Э.И. Кульков, М.Г. Таращук, В.В. Иванов // Энергетик. 1972. – № 7. – С. 26–28.
3. Похорилер, В.Л. Принудительное расхолаживание паровых турбин. М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Фискинд, Э.Э. Способы ускоренного расхолаживания теплофикационных турбин / Э.Э. Фискинд, В.Л. Похорилер, В.В. Борисов // Электрические станции. 1976. – № 7. – С. 14–17.

УДК 532.595.2

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УДАРЫ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Казейка К.В., Бубнова А.А.

Научный руководитель – ассистент Ракевич С.И.

Наиболее опасное своими последствиями известно явление как гидравлический удар. Понятие гидравлический удар заключается в резком увеличении или уменьшении давления в трубопроводах тепловых сетей и в приборах отопления, присоединённых к ней. Из-за скачков давления трубопроводы тепловых сетей повреждаются, раскрываются многометровые трубопроводы из стали, отказывают приборы нагрева. Всё это приводит к материальным и трудовым затратам.

Этапы гидроударов представлены на рисунке 1. Ниже изображён квартирный трубопровод, который прикреплен к домовому стояку и для того чтобы быстрее перекрыть поток на конце установлен смеситель, или как называют однорычажный кран.

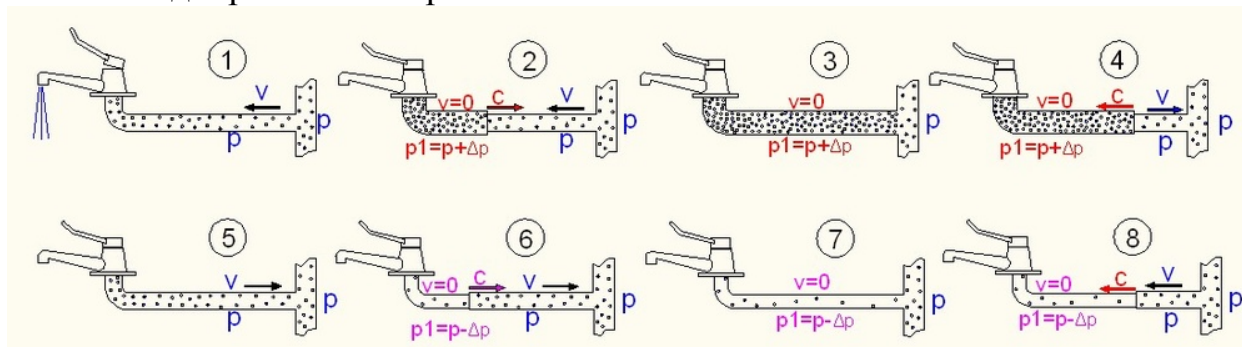


Рисунок 1 – Стадии гидравлического удара

Выделяют пять основных причин образования гидроударов в системе отопления:

- Появление воздушных пробок;
- Уменьшение диаметра с дальнейшей корректировкой направления потока;
- Резкие действия с запорно-регулирующей арматурой;
- Смена порядка действий насосного оборудования;
- Изгиб трубопровода отопления.

Появление воздушных пробок происходит зачастую в межсезонье, когда убывает вода, либо при строительстве тепловой системы. И тогда, после включения отопления происходит так, что система переполнена воздушной массой. При движении жидкости образуются небольшие отдельные объёмы в виде кармашков, что препятствуют дальнейшей циркуляции. Перед воздушной пробкой давление возрастает и движение теплоносителя прекращается. Когда достигается определённое значение давления, воздух пробивается при сдавливании водой. После резкого начала движения теплоносителя скорость растёт и возникают многочисленные гидроудары. Гидравлические отклонения могут возникать по причине плохой разработки проекта отопления, где

присутствует резкое сужение диаметра труб. Скорость воды в трубах маленького диаметра быстрее увеличивается. Опасным участком можно считать сочетание сужения и изгиба трубопровода. Он постоянно будет подвергаться избыточному давлению. Резкие действия с запорно-регулирующей арматурой распространяется на шаровые краны, которые закрываются одним поворотом в отличие от вентилей. В данных случаях при таких манипуляциях направление движения изменяется очень быстро. Закрываешь – повышенное давление повреждает арматуру и материалы, открываешь – повреждаются элементы за краном. На рисунке 2 изображен гидроудар в системе водоснабжения.

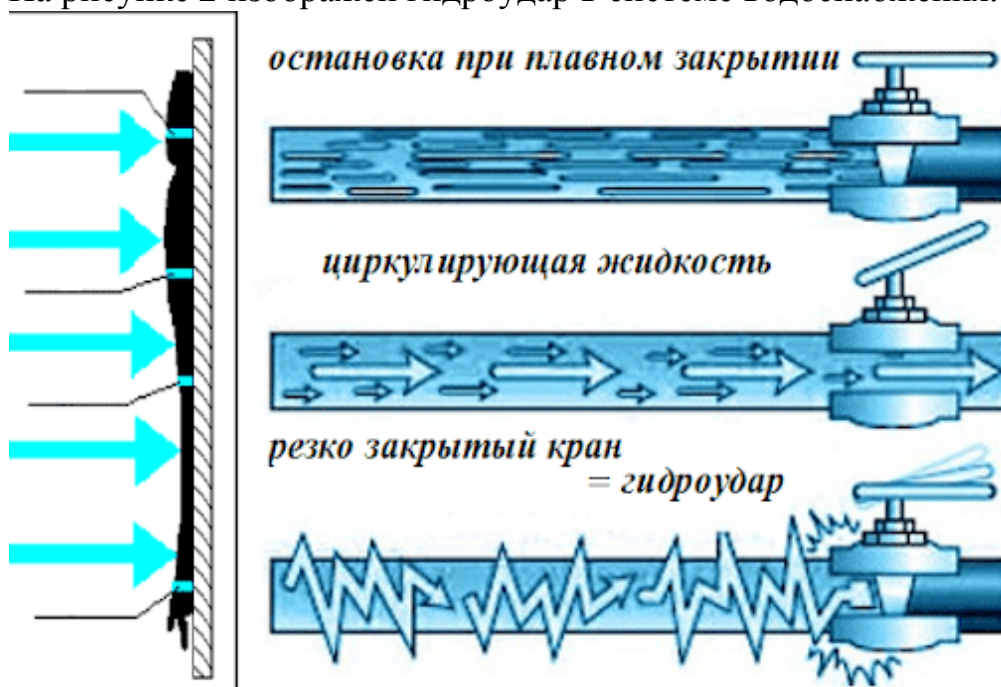


Рисунок 2 – Гидроудар в системе водоснабжения или отопления

Если появляются проблемы с потоком тепловых сетей, то проводят его анализ. В ходе такого анализа устанавливается наличие гидравлических ударов, на каком основании они возникли и разрабатываются мероприятия по их устранению. Цель улучшить тепловую сеть заключается в устранении причины возникновения гидроударов.

В физике гидроудар рассматривается как колебательный процесс, и поскольку значение длины трубопровода больше значения его диаметра, имеет одну степень свободы. Тепловая сеть с позиции термодинамики, есть однородная термодинамическая система. Скорость распространения гидравлического удара определяется по формуле Н.Е. Жуковского (1).

В трубопроводе тепловой сети она приблизительно равна скорости звука в сетевой воде:

$$a = a_0 / [1 + \left(\frac{\varepsilon}{E}\right) \cdot \left(\frac{D}{\delta}\right)]^{0,5}, \quad (1)$$

где a_0 – скорость распространения звука в жидкости, м/с;

ε и E – модуль упругости жидкости и материала стенок стальной трубы;

D и δ – диаметр и толщина стенок трубопровода.

В теории гидроудар за единицу времени принимают «фазы удара» (2):

$$\theta = 2 \cdot L/a, \quad (2)$$

где θ – фаза удара, с;

L – длина трубопровода, м.

Открывая или закрывая кран возникают посторонние звуки на подобие щелчков или стуков. Это сигнал о том, что в трубопроводе появилось повышенная нагрузка. Ущерб после аварий на трубопроводе нанесённый гидравлическими ударами может сильно превышать затраты превентивного разбирательства (рисунок 3):



Рисунок 3 – Последствия гидроударов

В тепловых сетях квартирных домов после гидроударов масштабных повреждений нет, в сравнении с трубопроводами больших диаметров. Хотя и незначительные повреждения в квартирных сетях займут много времени и потребуют внушительных финансовых затрат.

В квартирной трубной разводке частые гидравлические удары влекут за собой последствия:

- Уменьшается продолжительность работы трубопроводов;
- Выдавливание различных прокладок и уплотнений в арматуре, а также в соединителях трубопроводов;
- Прекращение работы контрольно-измерительных приборов, которые

установлены в квартире;

- Сдвиг соединителя с трубопровода при гидроударе;
- Для трубопроводов опасна зона разряжения ударной волны.

Чтобы избавиться от перехода кинетической энергии в энергию упругой деформации и защитить трубопровод от гидроудара необходимо:

- Накопление энергии;
- Втягивание жидкости и впуск воздуха (срыв вакуума);
- Улучшение закрытия клапана по времени;
- Оптимизация способа действия трубопроводной системой.

Рассмотрим способы защиты трубопроводов от гидроударов. Увеличить время перекрытия потока. На магистральных трубопроводах этот способ является самым эффективным. Плавное закрытие помогает избавиться от различных возмущений и от обязательной установки крупногабаритных и дорогих устройств задвижки. Электромагнитные клапана, однорычажные смесители, арматура для быстрого перекрытия потока используются в квартирных системах. Широкое применение находят гасители гидравлических ударов. Например, пневматические, которые делятся на поршневые (рисунок 4а) и мембранные (рисунок 4б), пружинные (рисунок 4в):

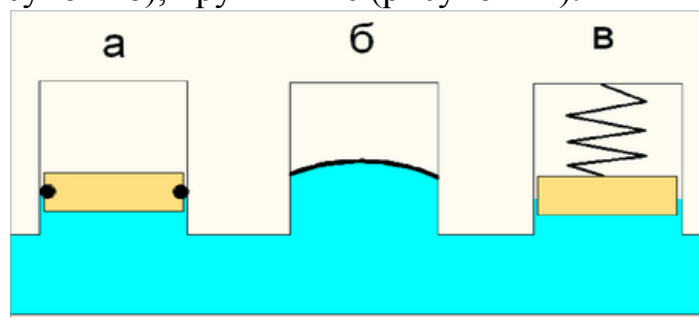


Рисунок 4 – Типы гасителей гидроударов

Гаситель гидроударов выполняет задачу защитника приборов, находящихся рядом. Он забирает лишнюю жидкость, чтобы уменьшить нагрузку на других элементах. Сам гаситель маленького размера. Располагаться он должен поближе к месту возникновения гидравлического удара.

Частью насосного агрегата являются воздушная подушка и маховик, которые выполняют роль защиты от гидроударов и перепадов давления. Для защиты от рассматриваемых проблем подходят устройства для впуска и выпуска воздуха для нарушения вакуума. Чтобы избежать рисков гидравлических ударов для каждой трубопроводной сети необходимо проводить анализ пульсаций давления совместно с оценкой опасности возникновения ударной волны. Для этого используются современное программное обеспечение.

До его появления использовался графический метод Шнидера-Бержерона, а также метод ручного расчёта при помощи уравнения Жуковского (3):

$$\Delta h_{Jou} = \frac{a}{g} \cdot \Delta v \approx 100\Delta v, \quad (3)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

Δh_{Jou} – изменение напора, м.

Таким образом, чтобы предотвратить гидроудар нужно придерживаться основных правил: плавно закрывать кран, использовать трубы большого диаметра, установить амортизирующее устройство, использовать компенсаторное оборудование.

Литература

1. Вероятность гидравлического удара в системе теплоснабжения, причины и последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2219. – Дата доступа 18.10.2020.
2. способов защитить систему водоснабжения от гидроудара [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ermangizer.ru/gidroudar_v_sisteme_vodosnabzheniya_prichiny. – Дата доступа 21.10.2020.

УДК 338.1

ЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ИННОВАЦИИ НА ТЭС

Колесень Е.А., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Инновации – введенные в гражданский оборот или используемые для собственных нужд новая или усовершенствованная продукция, новая или усовершенствованная технология, новая услуга, новое организационно-техническое решение производственного, административного, коммерческого или иного характера [2].

В любой стране энергетика очень важна, так как является базовой отраслью экономики. В свою очередь без использования электроэнергии сложно развивать и другие отрасли народного хозяйства. Сегодня главной задачей энергетики является правильная организация работы с топливом. Она включает: учет качества и количества топлива, работу с поставщиками, а в конечном итоге положительное отражение в экономике. Перспективное направление развития энергетики связано с использованием парогазовых установок (ПГУ) на тепловых электрических станциях (ТЭС).

Парогазовыми называются энергетические установки, в которых тепло уходящих газов газотурбинных установок прямо или косвенно используется для выработки электроэнергии в паротурбинном цикле.

Существуют различные виды классификации ПГУ:

По назначению:

- теплофикационные (предназначены для нагрева сетевой воды в подогревателях, подключаемых к паровой турбине);
- конденсационные (служат для выработки только электроэнергии).

По количеству рабочих тел:

- монарные (рабочим телом турбины является смесь продуктов сгорания и водяного пара);
- бинарные (рабочие тела газотурбинного цикла (воздух и продукты горения топлива) и паротурбинной установки (вода и водяной пар) разделены) [3].

Стоит отметить, что ПГУ работает на природном газе.

Принцип работы парогазовой установки рассмотрим на примере тепловой схемы ПГУ 400МВт, установленной на Лукомльской ГРЭС (рисунок 1) [1].

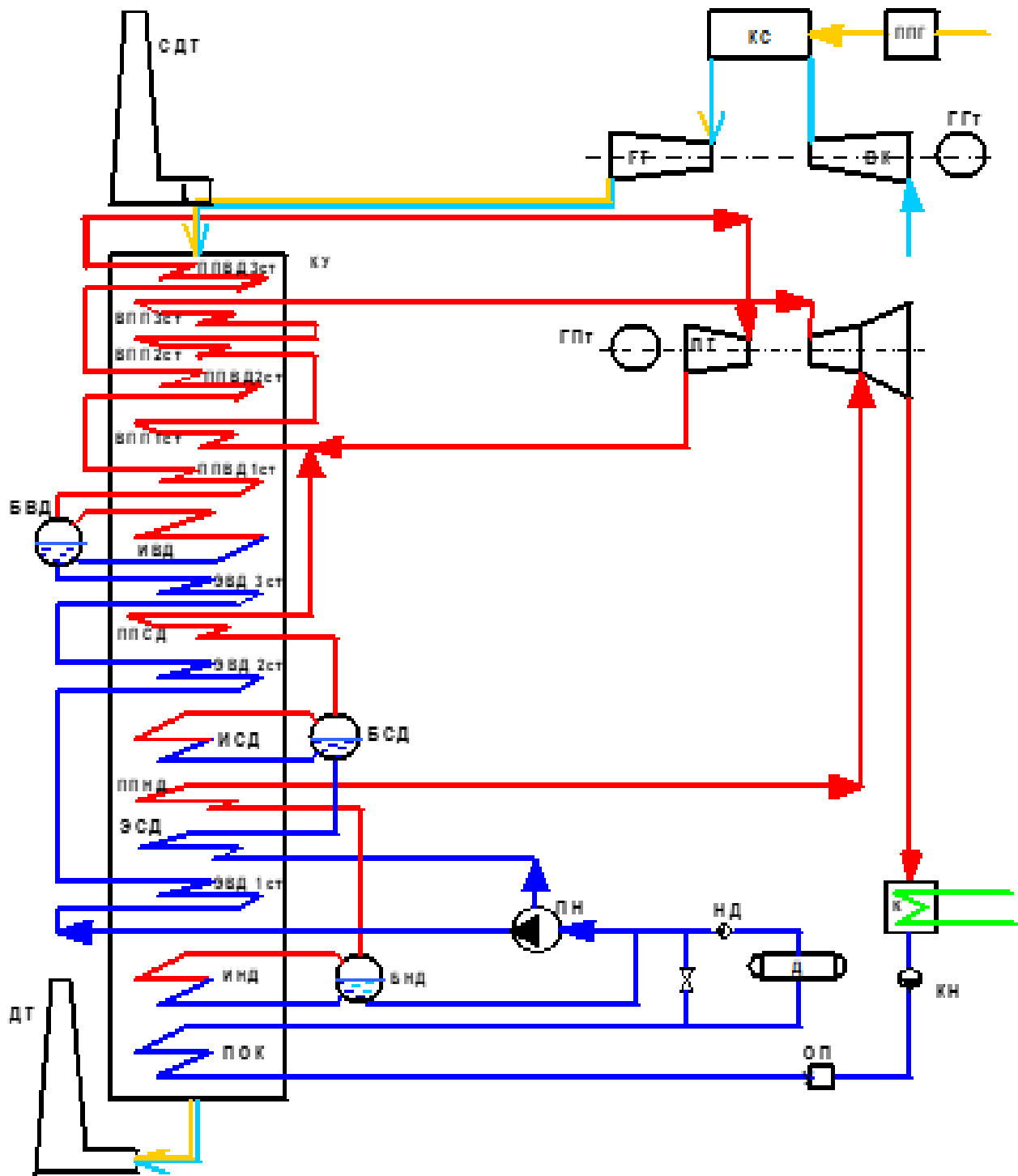


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ПГУ-400 МВт

На рисунке обозначены: ППГ – пункт подготовки газа с дожимной компрессорной станцией; КС – камера сгорания; ВК – воздушный компрессор; ГТ – газовая турбина; ПТ – паровая турбина; ГГТ – генератор газовой турбины; ГПГ – генератор паровой турбины; К – конденсатор; КН – конденсатный насос; ПН – питательный насос; Д – деаэратор; НД – насос деаэратора; КУ – котел утилизатор; ДТ – дымовая труба; СДТ – сбросная дымовая труба; БНД, БСД, БВД – барабаны низкого, среднего и высокого давлений; ПОУ – подогреватель основного конденсата; ИНД, ИСД, ИВД – испарители низкого, среднего и

высокого давления; ЭВД1ст, ЭВД2ст, ЭВД3ст – экономайзер высокого давления первой, второй, третьей ступеней; ППНД, ППСД – пароперегреватели низкого, среднего давлений; ВПП1ст, ВПП2ст, ВПП3ст – вторичные пароперегреватель первой, второй и третьей ступеней; ППВД1ст, ППВД2ст, ППВД3ст – пароперегреватель высокого давления первой, второй и третьей ступеней; ОПУ – охладитель пара уплотнений.

Парогазовая установка выполнена в двухвальном исполнении и состоит из газовой и паровой части. Газотурбинная установка имеет технологическую связь с тепловой схемой паровой части энергоблока только по потоку отработавших (выхлопных) газов. Выработка пара котлом-утилизатором осуществляется за счёт тепла уходящих газов газотурбинного двигателя.

Газовая часть

Из газопровода перед сжиганием в газовой турбине, природный газ поступает в пункт подготовки газа, где происходит его очистка, подогрев и повышение давления дожимным компрессором. После дожимного компрессора, природный газ подаётся в камеру сгорания газовой турбины. Туда же воздушным компрессором, расположенном на одном валу с газовой турбиной, подаётся воздух. На этом же валу расположен генератор газовой турбины, вырабатывающий электроэнергию. Из камеры сгорания дымовые газы направляются в газовую турбину, пройдя которую поступают в котёл-утилизатор. После котла-утилизатора через дымовую высотой 90 м. уходящие газы сбрасываются в атмосферу.

Котел-утилизатор оснащен сбросной дымовой трубой высотой 60м., позволяющей работать ПГУ только с газовой турбиной, и сбросом дымовых газов помимо котла-утилизатора.

Паровая часть

В котле-утилизаторе, за счёт теплообмена между дымовыми газами и питательной водой, подаваемой в котёл питательным насосом, вырабатывается водяной пар, который приводит в действие паровую турбину, на одном валу с которой находится электрогенератор паровой турбины.

Из конденсатосборника конденсатора паровой турбины, через охладитель пара уплотнений (ОПУ), конденсатным насосом (КН) конденсат подается в подогреватель основного конденсата (ПОК) котла-утилизатора, после которого он поступает в байпасный деаэратор. При выходе блока на номинальные параметры байпасный деаэратор выводится из работы.

Котел-утилизатор трехконтурный.

Контур низкого давления. Из деаэратора основной конденсат подается в барабан низкого давления (БНД), где после подогрева его в испарительных трубах (ИНД) котла-утилизатора происходит парообразование и разделение потока на паровую и водяную части. Водяная часть циркулирует в ИНД-БНД до полного ее испарения. Паровая часть направляется в пароперегреватель низкого давления (ППНД), после которого уже перегретый пар низкого давления направляется в часть низкого давления паровой турбины.

Контур среднего давления. Из деаэратора от промступеней питательного насоса основной конденсат через экономайзер среднего давления (ЭСД)

подается в барабан среднего давления (БСД), где после подогрева его в испарительных трубах (ИСД) котла-утилизатора происходит парообразование и разделение потока на паровую и водяную части. Паровая часть направляется в пароперегреватель среднего давления (ППСД). Далее, смешиваясь в паровом смесителе с паром холодного перегрева (ХПП) цилиндра высокого давления паровой турбины, пар направляется во вторичный пароперегреватель среднего давления для промежуточного перегрева. Пар горячего промперегрева (ГПП) после трёх ступеней вторичного пароперегревателя среднего давления (ВПП1ст, ВПП2ст, ВПП3ст) направляется в цилиндр среднего давления (ЦСД).

Контур высокого давления. Из деаэратора питательным насосом основной конденсат через экономайзер высокого давления первой, второй и третьей ступеней (ЭВД1ст, ЭВД2ст, ЭВД3ст) подается в барабан высокого давления (БВД), где после подогрева его в испарительных трубах (ИВД) котла-утилизатора происходит парообразование и разделение потока на паровую и водяную части. Паровая часть направляется в пароперегреватель высокого давления первой, второй и третьей ступеней (ППВД1ст, ППВД2ст, ППВД3ст), после которого пар высокого давления (острый пар) направляется в цилиндр высокого давления (ЦВД).

Отработанный в турбине пар направляется в конденсатор паровой турбины, где происходит его конденсация. Охлаждающей средой в конденсаторе служит циркуляционная вода пруда охладителя.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели ПГУ-400

Электрическая нагрузка, кВт	Процентная загрузка, %	Удельный расход теплоты на отпуск э.э., кДж/(кВт*ч)	Удельный расход топлива на отпуск э.э., кг у.т./(кВт*ч)	КПД ПГУ-400 (брутто/нетто), %
427 000	100	6270	0,214	58,761/57,41
328 000	75	6488	0,222	56,80/55,49
234 505	50	6947	0,237	53,04/51,82
128 593	25	9226	0,315	39,94/39,02

На основе данных из таблицы 1 можно сделать вывод: чем выше мощность выдает парогазовая установка, тем меньше удельный расход топлива, соответственно, тем она экономичнее и выше ее КПД [1].

Преимущества строительства ПГУ на ТЭС

- Высокий КПД. Парогазовые установки достигают КПД выше 60%, когда отдельно работающие паросиловые установки функционируют с КПД до 45%, а газотурбинные – 28-42%.
- Экономичность. Сниженная стоимость единицы мощности из-за меньшей потребности в топливе.
- Требования к водоподготовке для парогазовой энергетики меньше, чем для паросиловых установок.
- Потребление охлаждающей воды ПГУ примерно втрое меньше в сравнении с паросиловой.
- Малые выбросы парниковых газов, соответственно, меньшее

загрязнение окружающей среды.

- Короткий срок строительства, около 8-12 месяцев [4].

Недостатки

- Высокие требования к профессионализму и проектировщиков, и строителей, и эксплуататоров.
- Работает только на природном газе [4].

Таким образом, сегодня можно говорить в основном о большей тепловой и экологической эффективности современных парогазовых установок по сравнению с паротурбинными. Также в настоящее время существует большое разнообразие парогазовых установок со своими особенностями в технологическом процессе.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации газотурбины ЛГРЭС.
2. О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 11 мая 2016 г. № 364-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск, 2016.
3. Усмонов, Н.О. Особенности использования парогазовых установок на ТЭС / Н.О. Усмонов, Ф.Ш. Умарджанова // Молодой ученый [Электронный ресурс]. – 2016. – № 11 (115). – С. 518-522. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive//115/30781/> – Дата доступа – 11.10.2020.
4. Шубаров, Н.С., СРАВНЕНИЕ ПАРОТУРБИННОГО И ПАРОГАЗОВОГО ЦИКЛОВ / Н.С. Шубаров, А.Ж. Увайсова // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://scienceforum.ru/2017/article/2017035471> – Дата доступа – 11.10.2020.

УДК 621.321

ДИАГНОСТИКА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Колос В.М., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Как показывает опыт эксплуатации паротурбинных установок, случаи обрывов рабочих лопаток последних ступеней цилиндра низкого давления (ЦНД) достаточно часты и сопровождаются значительными повреждениями оборудования, а в ряде случаев приводят к крупным авариям, ликвидация которых требует больших материальных затрат. Так, отрыв рабочих лопаток последней ступени ЦНД турбоагрегата 300 МВт ст. № 7 привел в 1990 году к пожару с обрушением кровли машинного отделения Сырдарьинской ГРЭС. Ущерб составил более 70 млн росс. рублей (в ценах 1990 года).

Причины таких повреждений различны. В том числе нарушения вызываются повышенной вибрацией. Это, например, усталостные трещины, разрыв демпферных связей и другое.

Предотвращение или снижение вероятности обрыва лопаток ЦНД мощных паровых турбин является актуальной и важной задачей.

В ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание эффективной системы контроля состояния рабочих лопаток турбомашин [1]. Система разработана под руководством к.т.н. Мандрыка Э.С. и к.т.н. Исакова Н.Ю. [1].

В основу метода диагностики рабочих лопаток положено определение изменения положения вершин лопаток как диагностического признака повреждения.

Рабочая лопатка находится в равновесном положении под действием центробежных и аэродинамических сил. Возникающее в процессе эксплуатации повреждение лопатки (усталостная трещина, нарушение связей и т.д.) изменяет ее механические характеристики, что неизбежно вызывает изменение положения этой лопатки.

Для реализации рассматриваемого метода используется микропроцессорная аппаратура, позволяющая с высокой точностью определять относительные положения вершины каждой лопатки ступени. В качестве исходных сигналов для аппаратуры являются электрические импульсные сигналы, генерируемые вершинами лопаток в датчиках № 1 и 2, установленных над лопатками (рисунок 1), а также сигнал датчика, дающего один импульс за оборот (Д0) [1].

Микропроцессорный измерительный комплекс (МИК) измеряет для каждой лопатки за оборот ротора величины временных или угловых интервалов a_i между сигналами от датчиков 1 и 2. Эти измерения МИК производит на достаточно большом числе оборотов (около 1500 об/мин) и выдает на цифровой индикатор для каждой лопатки осредненное значение a_i .

Первой лопаткой считается та лопатка, электрический импульс от которой следует первым после импульса от датчика Д0. Смещение вершины i -ой лопатки

от своего исходного положения на величину Δ приводит к соответствующему смещению i -го импульса и изменению значения a_i (рисунок 1).

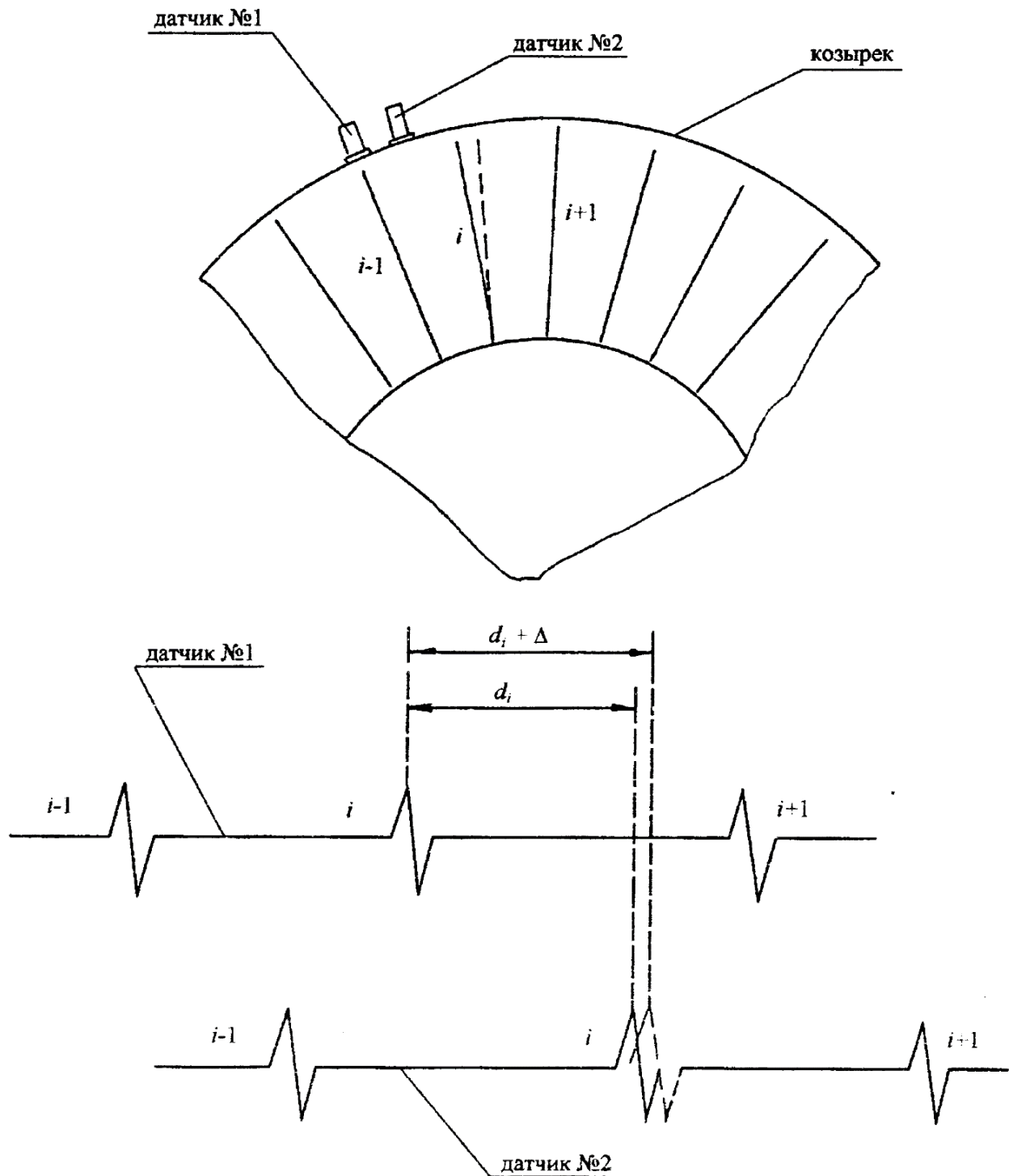


Рисунок 1 – Схема измерения относительного положения лопаток

В качестве единицы измерения угловых интервалов между электрическими импульсами взята $1:13072$ часть оборота, что составляет $0,000048$ радиана. Следовательно, если принять диаметр облопаченного диска равным 3500 мм, то изменение a_i на одну единицу соответствует смещению вершины лопатки на $0,084$ мм.

Выполненные расчеты и эксперименты в стендовых условиях [1] показали, что, например, повреждение лопатки в виде усталостной трещины величиной 25% длины хорды в прикорневой зоне вызывает перемещение вершины лопатки на величину, которая при указанной чувствительности микропроцессорного измерительного комплекса будет с гарантией зафиксирована.

Эффективность диагностирования во многом определяется стабильностью относительных положений лопаток при отсутствии их повреждений, которая может зависеть как от режимов работы турбины, так и от многих других факторов, включая стабильность условий расположения элементов связи лопаток в период непрерывной работы турбины, а также после ее остановов.

Оснащение турбины датчиками производится в соответствии с требованиями электростанции по количеству контролируемых потоков турбины. Тип установленных датчиков - индукционные, размер - диаметром 16 мм. Установка их производится в козырьках над вершинами лопаток с помощью специальных кронштейнов. Над каждой из контролируемых ступеней в плоскости вращения лопаток устанавливается по 2 датчика, расстояние между которыми по дуге равно примерно половине шага вершин лопаток. Для обеспечения герметизации провода от датчиков заводятся в медную трубку $\varnothing 4 \times 1$.

Трубки с проводами проложены по внутренней стенке корпуса выхлопа и через отверстия в корпусе выведены наружу. Внутри корпуса выхлопа трубки закреплены приварными скобами и для защиты их от эрозии закрыты козырьком, приваренным к внутренней стенке корпуса выхлопа. Места вывода трубок герметизируются с помощью герметика.

Измерительная схема включает в себя кнопочный коммутатор каналов, переключатель датчиков, три предусилителя, прибор МИК и катодный осциллограф (рисунок 2) [1].

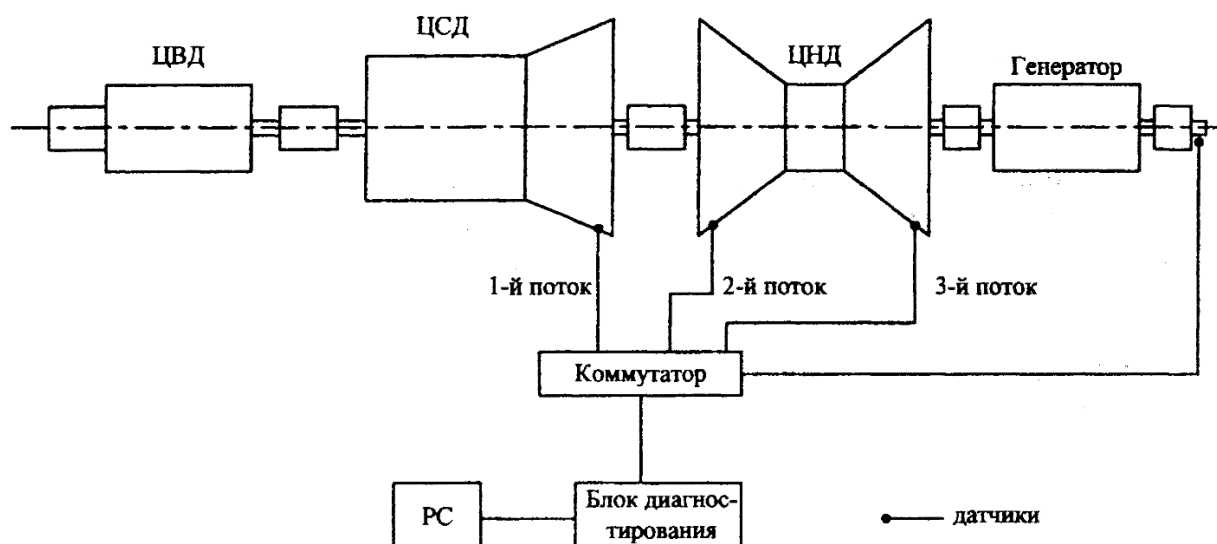


Рисунок 2 – Функциональная схема системы диагностики рабочих лопаток последних ступеней ЦСД-ЦНД турбины К-300-240 ЛМЗ

Коммутатор каналов служит для подключения к прибору датчиков любой из контролируемых ступеней рабочих лопаток.

Катодный осциллограф используется для визуального контроля. На его экране высвечиваются точки, число которых соответствует числу лопаток контролируемой ступени.

Значение измеряемых величин выдается на цифровой индикатор прибора МИК в угловых единицах (дискретах). Прибор имеет четыре измерительных масштаба (1:1; 1:2; 1:4; 1:8), наибольшая чувствительность соответствует масштабу 1:1. На этом масштабе одна единица (дискрета) на цифровом индикаторе соответствует 0,000048 радиана. Следовательно, при измерении относительных положений лопаток изменение в одну дискрету эквивалентно изменению положения вершины лопатки на 0,081 мм [1].

Литература

1. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 2. Диагностика паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др.; под ред. Хоменка Л.А. – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2002. – 264 с.

УДК 621.165

**ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ
В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС**

Пантелей Д.Е., Дячѣк О.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Пронкевич Е.В.

Очистка конденсата и всей питательной воды от растворенного кислорода является важнейшей задачей водоприготовления вследствие большой коррозионной активности кислорода.

Опасной особенностью кислородной коррозии является ее местный характер, то есть процесс разрушения металла не происходит равномерно по всей поверхности, а лишь в отдельных местах, но на большую глубину. Такую коррозию еще называют язвенной коррозией, которая может привести к непригодности парогенератор или отдельные узлы системы. Именно эти обстоятельства приводят к необходимости глубокой очистки питательной воды от растворенного в ней кислорода.

Для обескислороживания питательной воды разработаны методы, основанные на физических и химических принципах.

Наиболее распространенным в теплоэнергетике физическим методом обескислороживания воды является метод термической деаэрации. Он сводится к нагреванию воды водяным паром, иногда перегретой водой до кипения. Растворимость кислорода в воде с увеличением температуры уменьшается до нуля, и кислород вместе с другими компонентами воздуха и иными растворенными газами, какими обычно являются CO_2 и иногда NH_3 , удаляется из деаэратора с частью водяных паров, суммарно называемых выпаром. Аппараты, предназначенные для удаления газов из воды, называют термическими деаэраторами. При возрастании температуры воды растворимость кислорода в воде убывает.

При температуре, когда упругость (давление) водяных паров внутри жидкости становится равным давлению газов и паров над жидкостью, наступает кипение жидкости, то есть жидкость испаряется не только с поверхности, но и по всему объему. Следовательно, растворимость газов в жидкости, а значит и кислорода в воде становится равной нулю.

Когда парциальное давление газов в пространстве над водой становится равным нулю, растворимость газов в воде также равняется нулю, то есть полностью отсутствует.

Абсолютная величина давления в пространстве над водой не влияет на эффект деаэрации. Это позволяет производить термическую деаэрацию воды при давлениях выше и ниже атмосферного при условии, чтобы температура деаэрируемой воды была равна температуре ее кипения при данном давлении.

Эта закономерность лежит в основе осуществления термической деаэрации как в вакуумных деаэраторах и главных конденсаторах паровых турбин, так и в термических деаэраторах, работающих в режиме атмосферного или повышенного давления. Однако доведение деаэрируемой воды до кипения,

является необходимым условием, в то же время недостаточно для практического осуществления деаэрации.

Успешное протекание деаэрации при достижении кипения воды должно обеспечиваться оптимально организованной диффузионной кинетикой процесса выделения газов в части диффузии газов из объема жидкости к ее поверхности, десорбции газов при переходе из жидкости в парогазовую фазу и, наконец, путем возможно полной эвакуации парогазовой смеси из объема над жидкостью.

Подаваемая в деаэратор вода должна проходить через устройства, превращающие поток воды в тонкоструйные или пленочные формы, чтобы максимально увеличить долю поверхности воды по отношению к ее объему. Уменьшение вязкости и поверхностного натяжения нагретой воды способствует ускорению диффузии газов из объема жидкости к разделу фаз и десорбции газов в объем над жидкостью.

Углекислый газ и аммиак, если они присутствуют в воде, деаэрируются значительно труднее кислорода в связи с гидролизом и образованием истинно растворенных гидратированных ионов, таких как HCO_3^- и NH_4^+ .

При современных щелочных водных режимах блочных установок за счет гидразина и аммиака, последний в некоторых количествах циркулирует по пароводяному тракту, проходя через главный конденсатор и деаэратор. Удаление углекислоты следует считать положительным, удаление азота – сопутствующим явлением.

Деаэрированная вода стекает в аккумуляторный бак, откуда поступает в трубопровод питательной воды. В некоторых конструкциях деаэраторов водяной пар вводится не только в нижнюю часть головки, но еще и под слой воды в баке-аккумуляторе, что увеличивает глубину обескислороживания воды и одновременно увеличивает расход пара на порядок, то есть до 12-20 кг/т воды.

Греющий водяной пар к некоторой мере конденсируется при контакте с нагреваемой водой. Незначительная часть несконденсировавшегося пара выводится из верхней части головки деаэратора вместе с газами и проходит теплообменник или специальный охладитель выпара, где отдает тепло исходной воде. Затем производится сепарация выпара, то есть отделение конденсата от несконденсировавшихся газов и конденсат пара снова может быть возвращен в линию деаэрируемой воды.

Вакуумные деаэраторы применяются в системах горячего водоснабжения с температурой ниже $100\text{ }^\circ\text{C}$ (от 40 до $70\text{ }^\circ\text{C}$).

По проектам ЦКТИ изготавливается мощностной ряд вакуумных деаэраторов производительностью от 5 до 300 т/ч деаэрируемой воды. Деаэраторы большей производительности (400, 800, 1200, 2000 и 3200 т/ч) монтируются из типовых секций по 400 т/ч производительностью каждая.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема вакуумного струйно-барботажного двухступенчатого деаэратора горизонтального типа.

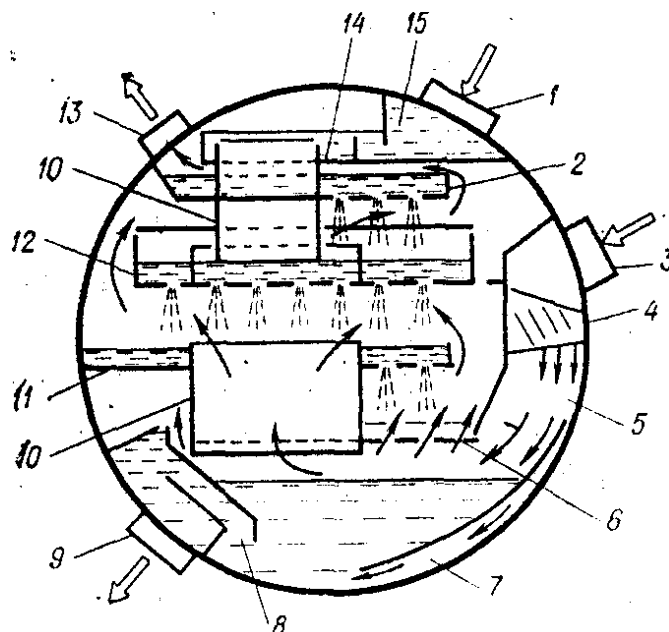


Рисунок 1 – Принципиальная схема вакуумного струйно-барботажного двухступенчатого деаэратора горизонтального типа

Подвергаемая деаэрации вода подается по трубопроводу 1 в коллектор 15 и из него переливается в дырчатую тарелку 14, а затем заполняет тарелку 2, струйно переходит на тарелку 12, затем на тарелку и на барботажное устройство 6, промываемое паром, как это показано на схеме стрелками.

Затем вода выходит из деаэратора по трубе 9. Другим потоком через трубу 3 в деаэратор вводится горячая вода с температурой от 70 до 150 °С, вскипает, сепарируется на жалюзийном устройстве 4 и в отсеке 5 превращается в два потока: верхний – пара и нижний – конденсата.

Конденсат в каналах 7 и 8 смешивается с деаэрируемой водой и выходит по трубе 9. Водяной пар, преодолевая сопротивление воды в устройстве 6, барботирует через воду, способствуя выносу растворенного кислорода из воды. Этому же способствуют потоки пара, пронизывающие струи воды, падающие из 2, 12 и 11 тарелок. Кроме пути через барботажное устройство, водяной пар частично проходит непосредственно под струйные тарелки через два короба 10. Выделившиеся из воды газы и несконденсировавшийся водяной пар, так называемый выпар, выводится через трубу 13.

В вакуумных деаэраторах происходит удаление растворенного в воде кислорода, углекислого газа и разложение бикарбонатов натрия.

Средний подогрев воды в вакуумных деаэраторах в диапазоне 15-25 °С.

В главных конденсаторах паровых турбин осуществляется вакуумная деаэрация конденсата и добавочной воды.

Глубокая деаэрация подпиточной воды позволяет защитить пиковые подогреватели, водогрейные котлы и тепловые сети от интенсивной коррозии, устранить недопустимое повышение содержания окислов железа в воде и предотвратить повышение ее цветности.

Использование вакуумных деаэраторов в схемах турбин позволяет упростить тепловую схему турбины, сократить количество вспомогательного

оборудования, ликвидировать потерю конденсата из питательной системы ТЭЦ, увеличить мощность турбины за счет снижения давления пара в отборах и значительно увеличить годовую выработку электроэнергии на тепловом потреблении.

Процесс деаэрации под вакуумом происходит труднее, чем при атмосферном или повышенном давлении. Объясняется это тем, что при снижении температуры воды от 120 до 0 °С растворимость газов в воде растет, а коэффициенты массоотдачи в жидкой фазе при прочих равных условиях существенно уменьшаются. Поэтому для достижения равной глубины деаэрации интенсивность обработки воды в вакуумных деаэраторах должна быть выше, чем в аппаратах других типов. Следовательно, и конструкция вакуумных деаэраторов должна быть более совершенной.

Основными факторами, определяющими преимущества вакуумных деаэраторов перед деаэраторами других типов, являются:

- в схемах деаэрации подпиточной воды теплосети – применение пара низкопотенциальных отборов или отработанного пара турбин ТЭЦ для подогрева теплоносителей перед вакуумными деаэраторами и устранение потерь конденсата греющего пара за счет использования в качестве греющего агента перегретой подпиточной или сетевой воды;

- в схемах деаэрации добавочной питательной воды котлов – снижение давления пара отопительных отборов турбин, в схему которых включены вакуумные деаэраторы, до уровня, определяемого температурным графиком работы теплосети, и использование низкопотенциальных нерегулируемых отборов турбин для регенеративного подогрева деаэрированной воды.

Литература

1. Рихтер, Л.А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
2. Тепловые электрические станции: Справочное пособие / Под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 648 с.
3. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок/ Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. – 586 с.

УДК 621.18

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ БАРАБАНОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ
В УСЛОВИЯХ ПУСКОВ И ОСТАНОВОВ**

Сацкевич Я.М., Эркабаева Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

процессы при пуско-остановочных режимах котлов щих Работа энергосистемы в условиях неравномерного графика нагрузок сопровождается остановками и пусками основного и вспомогательного оборудования.

Опыт эксплуатации тепловых электростанций показывает [1], что нестационарные высокого давления сопровождаются неравномерностью прогрева отдельных элементов толстостенных барабанов.

Указанное является причиной возникновения температурных напряжений, приводя к остаточным деформациям и разрушениям металла барабана из-за общих и локальных температурных перекосов:

- по толщине стенки;
- по диаметру сечения барабана (между верхом
- низом);
- по осевой длине нижней и верхней образующих барабана;
- по изолированным и неизолированным поверхностям днищ.

В местах подсоединения труб к стенке барабана возникают циклические тепловые удары в результате нестационарных режимов эксплуатации.

На рисунке 1 по данным [2] приведены примерные изменения разности температур Δt в теле необогреваемого барабана во время пуска котла, проводимого по инструкциям, давления

и температуры t_b среды, а также температурных напряжений, вызывающих растягивающие усилия на наружной поверхности и сжимающие - на внутренней, в зависимости от времени τ .

Наибольшую опасность для барабана представляет температурное напряжение на наружной поверхности, где оно суммируется с напряжениями давле

н рб ния.

В связи с различными условиями теплообмена в верхнем (паровая часть барабана) и нижнем (водяная часть) сечениях барабана появляется температурная неравномерность. Как видно из рисунка 1, максимальная разность температур достигается в центральном сечении барабана, где для приведенного примера $\Delta t_{в-н} = 75^\circ\text{C}$ [2].

Разность температур по верхней и нижней образующим осевой длины барабана определяется различными условиями теплообмена различных фаз состояния теплоносителя, наличием застойных зон в торцах барабана и температурной неравномерностью воды, поступающей из труб поверхностей нагрева в периферийных и центральных частях барабана. На примере пуска (рисунок 1) эта разность была зафиксирована для металла барабана в пределах $\Delta t_m = 87^\circ\text{C}$ [2].

При пусках и остановках котлов при высокой скорости изменения температуры насыщения на внутренней поверхности барабана в районе выходных отверстий труб возможны тепловые удары с недопустимой скоростью изменения температур. Наиболее опасными являются тепловые удары при пусках котлов после аварийного останова с полным опорожнением. В этих случаях в результате заполнения неостывшего барабана ($t_b = 200 - 250^\circ\text{C}$) питательной водой с температурой $t_n = 100^\circ\text{C}$ на опрессовку возникают тепловые удары недопустимого значения, что и является основной причиной появления трещин, образующихся у отверстий опускных, пароперепускных и паротводящих труб.

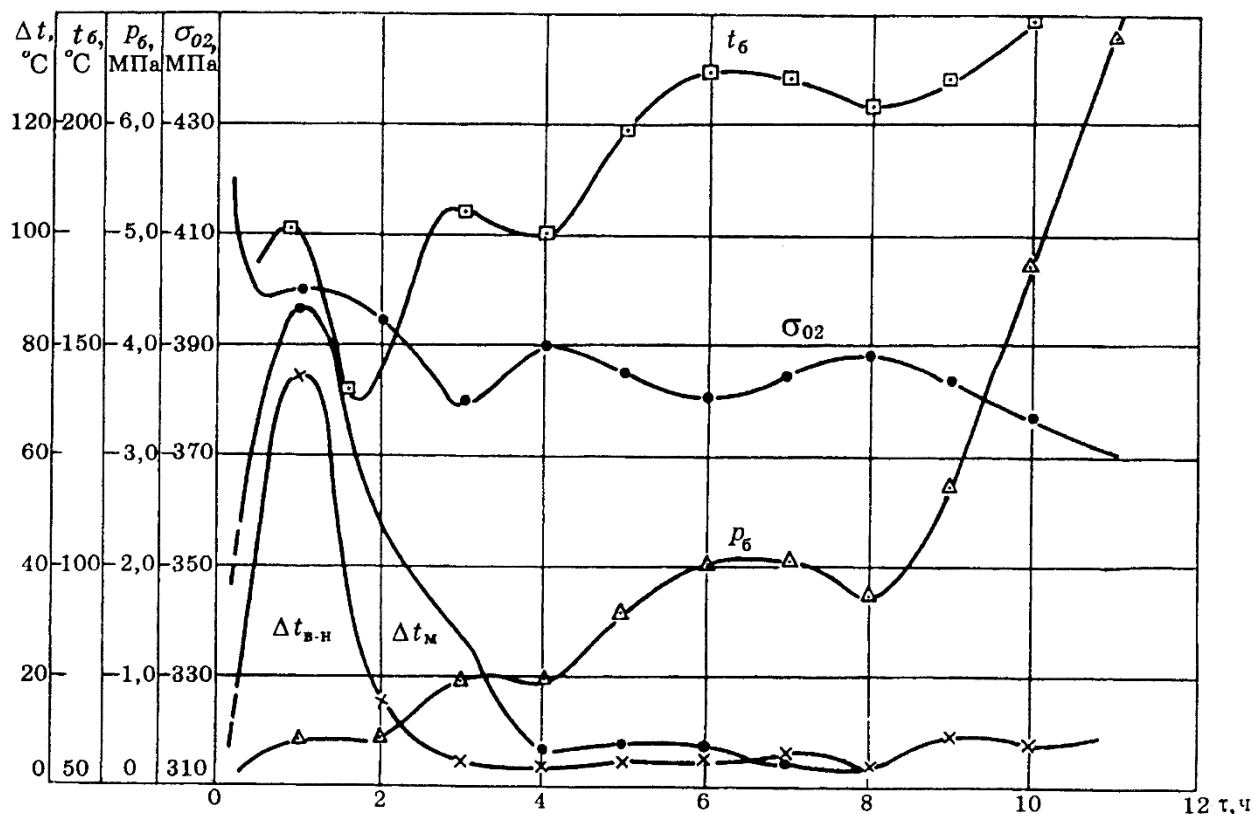


Рисунок 1 – Изменение параметров при пуске

В [2] рассматривается проверенный на действующем оборудовании комплекс мероприятий по обеспечению надежной работы барабанов. Эти мероприятия заключаются в том, чтобы по мере изменения давления при пуске и остановке котла поддерживать во всех отсеках барабана одинаковую температуру, равную температуре насыщения. Для этого необходимо охлаждать верхнюю часть барабана при остановке котла и обогревать нижнюю часть при пуске.

В [2] рекомендована схема водоструйного обогрева нижних отсеков питательной водой (рисунок 2). Вода, взятая из основной питательной магистрали, при условиях пуска котла является перегретой, и с ростом давления в барабане повышается температура воды, подаваемой на обогрев.

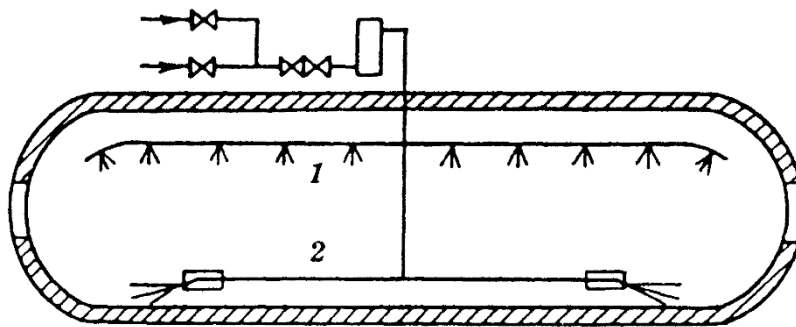


Рисунок 2 – Технологическая схема охлаждения при останове (1) и нагрева при пуске (2) барабана котла

Выходящая из сопел питательная вода имеет температуру насыщения, соответствующую давлению в барабане. В дальнейшем с ростом температуры насыщения обогрев застойных зон происходит за счет эжекции котловой воды из чистого отсека. При температуре металла барабана 250°C подача воды на обогрев прекращается. Уровень воды в барабане остается нормальным, поскольку расход питательной воды при обогреве не превышает расхода, необходимого для подпитки котла.

При останове с целью сокращения времени остывания котла в [2] предложено проводить усиленную продувку на РРОУ, обеспечивающую интенсивное внутреннее охлаждение поверхностей нагрева и барабана. Для устранения температурных напряжений, возникающих от недопустимой разности температур по периметру барабана рекомендована схема впрыскивающего охлаждения верхней части барабана (рисунок 2) [2]. Для впрыска используется питательная вода, взятая за ПНД. Количество воды не превышает количества воды на подпитку котла и поэтому не влияет на уровень воды в барабане. Во время аварийных остановов котла из-за разрывов экранных труб, когда имеет место опорожнение барабана, впрыск воды для охлаждения металла позволяет охладить его до момента заполнения котла холодной водой.

В [2] отмечается, что рассмотренный способ охлаждения верха и прогрева низа барабана прост конструктивно, экономичен и обеспечивает надежность работы котельной установки.

Литература

1. Мадоян, А.А. Повышение маневренности и эффективности использования тепловых электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Федорченко, Г.С. Повышение надежности и долговечности толстостенных барабанов / Г.С. Федорченко, В.А. Макарьян // Вестник МЭИ. Теплоэнергетика. Сводный том 2. – МЭИ, 1997. – С. 117–120.

УДК 532.595.2

ЗАЩИТА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

Стриголович И.И., Алексеева О.С., Силкин Н.В.
Научный руководитель – ассистент Ракевич С.И.

Гидравлический удар(ГУ) – скоротечный волновой процесс, возникающий в результате резкого изменения скорости движения жидкости. Он характеризуется чередованием резких повышений и понижений давления. В первом случае наблюдается положительный гидроудар, во втором – отрицательный.

Возможными причинами возникновения ГУ могут стать:

1. Останов или внезапное включение насосов на насосной станции или теплоисточнике.
2. Резкое перекрытие или подача жидкости при помощи запорной арматуры.
3. Аварийные ситуации, сопровождающиеся отклонением параметров среды от установленных (вскипание теплоносителя).
4. Большой перепад диаметров труб.

Чем опасен гидравлический удар? Последствия от гидроудара могут быть разного масштаба: трещины в трубопроводе, нарушение герметичности фланцевых соединений, повреждение стыков, могут быть выведены из строя элементы трубопровода, повреждены задвижки. Всё это сопровождается утечкой теплоносителя и в дальнейшем может привести к серьёзным аварийным ситуациям. Степень опасности ГУ определяется такими факторами, как степень сжимаемости жидкости (низкая у воды), диаметры и длина тепловых сетей (при их увеличении вероятность возникновения ГУ возрастает), материал, из которого изготовлен трубопровод. Например, в трубопроводах с упругими стенками ударная волна будет не такой сильной за счёт частичного её поглощения стенками труб и снижения скорости этой волны.

Чтобы избежать аварийных ситуаций в теплосетях следует применять методы защиты от гидравлических ударов. Наиболее часто используемыми являются устройства дренажного типа. Они позволяют сбросить некоторый объем теплоносителя в момент прохождения ударной волны, тем самым создавая волну противоположного знака, которая накладывается на ударную волну и, как следствие, снижает ее пагубное действие. Примером такого устройства является быстродействующий сливной клапан (БКС).

Принцип работы: защита осуществляется путем слива воды из тепловой сети. Этот процесс происходит следующим образом: на мембрану передается давление сетевой воды в гидросистеме. Под действием которого происходит перемещение штока и тарелки и закрывается входное отверстие клапана. За счет разности площадей поверхности мембраны и выходного отверстия создается усилие, которое приводит к плотному закрытию клапана. Открытие, в свою очередь, происходит из-за падения давления в рабочей камере, после срабатывания системы управления клапаном. Вследствие этого тарелка клапана

отходит от седла, тем самым открывая входное отверстие, через которое и происходит сброс воды.

Конструкция БКС представлена на рисунке 1.

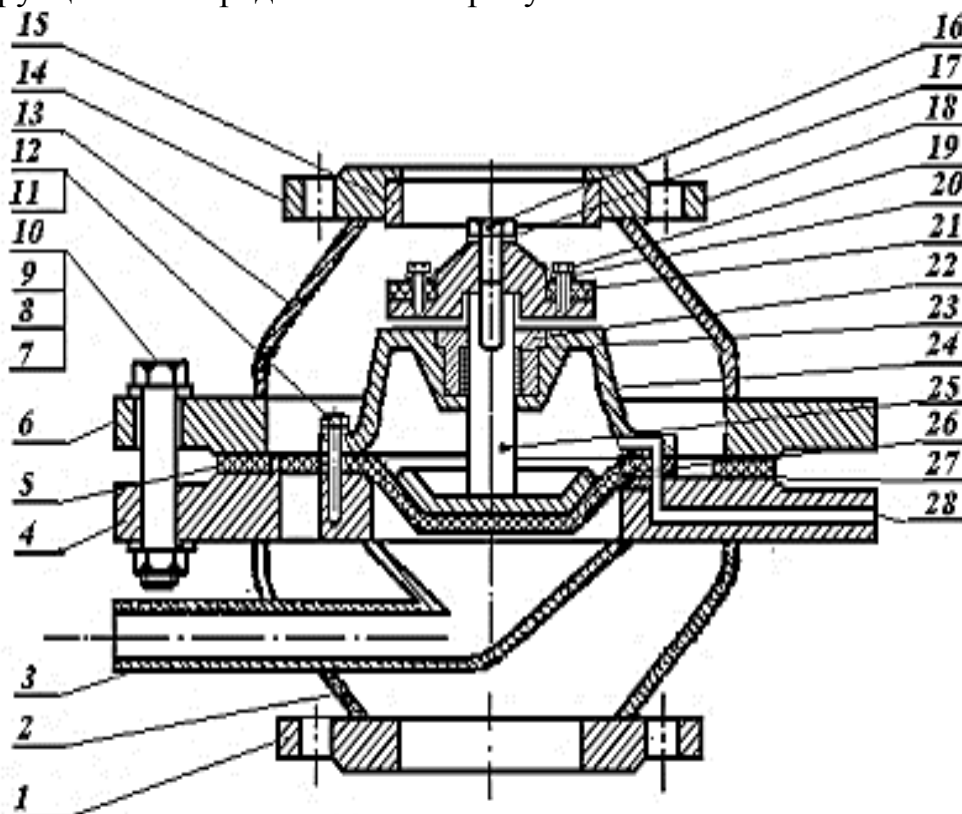


Рисунок 1 – Конструкция быстродействующего сливного клапана

1– фланец, 2– переход диаметров, 3– труба с отводом, 4– корпус клапана, 5– прокладка, 6– крышка, 7– гайка, 8– шайба, 9 – шайба, 10 – болт, 11 – шайба, 12 – болт, 13 – переход диаметров, 14 – фланец, 15 – седло, 16 – болт, прокладка, 17 – тарелка, 18 – фланец, 19 – болт, 20 – кольцо, 21 – прокладка, 22 – втулка, 23 – кольцо уплотнительное, 24 – крышка привода, 25 – шток, 26 – диск опорный, 27 – мембрана, 28 – втулка

Одним из достоинств БКС является его надежность и быстродействие. Для поддержания работоспособности производится техническое обслуживание клапанов квалифицированным персоналом, хорошо знающим конструкцию клапана и инструкцию по эксплуатации. Так же к достоинствам клапана относится отсутствие потерь теплоносителя и отсутствие необходимости замены деталей в случае срабатывания.

Таким образом, быстродействующий сливной клапан обеспечивает надежную работу тепловых сетей без разрушительных последствий от ГУ в течение 25 лет.

На насосных станциях в качестве метода защиты применяется устройство противоударной перемычки между обратным и подающим трубопроводами с установкой на ней обратного клапана. Установленный на противоударной перемычке клапан способствует выравниванию давлений в трубопроводах и затуханию ударной волны в случае, когда давление в обратном трубопроводе превышает давление в подающем, что случается при внезапной остановке

насосов. Схема противоударной перемычки с обратным клапаном представлена на рисунке 2.

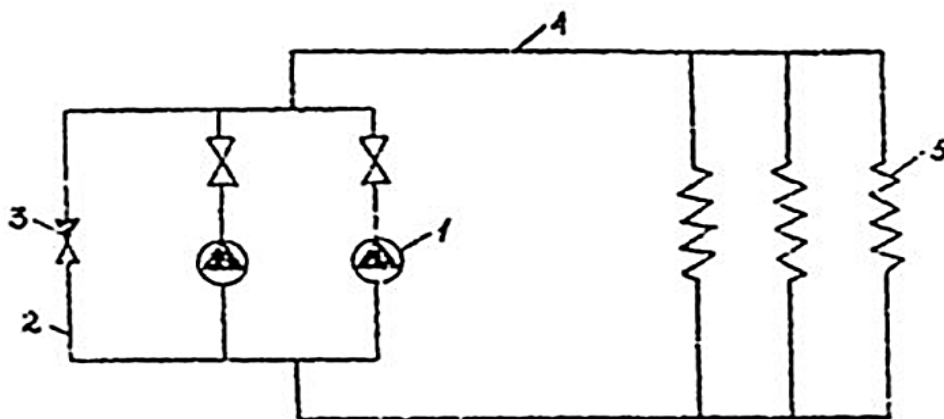


Рисунок 2 – Схема противоударной перемычки с обратным клапаном
1 – насос, 2 – противоударная перемычка, 3 – обратный клапан, 4 – тепловая сеть,
5 – потребители тепла

В котельных, с целью предотвращения ГУ, рекомендовано использовать гидрозатворы, которые подключаются к обратному коллектору. Их можно представить как вертикальную «трубу в трубе» высотой приблизительно на 3 метра напора в обратном коллекторе. Внешняя труба гидрозатвора подключается к системе канализации или приемной ёмкости и служит для приема сброшенного теплоносителя, в то время как внутренняя труба врезана в обратный коллектор тепловой сети.

Следует отметить, что для защиты тепловых сетей потребителя используются такие устройства как компенсаторы и редукторы давления. Они принимают на себя избыточное давление, сохраняя при этом нормальные рабочие параметры для компонентов системы, защищая от ГУ трубопровод и подключенное к нему оборудование. Компенсатор чаще всего представляет собой корпус из латуни или нержавеющей стали, с внутренней разделительной полимерной мембраной. Вдобавок он выполняет роль расширительной емкости, что важно в случаях поступления только холодной воды, которая имеет свойство расширения под воздействием комнатной температуры или близко расположенной горячей трубы. Редуктор давления представляет собой устройство в герметичном металлическом корпусе, имеющее 2 резьбовых отверстия. Для регулировки давления может подключаться винт и манометр для контроля. В зависимости от способа поддержания заданного параметра редукторы делятся на редукторы давления, работающие по динамике и по статике.

Также поможет снизить риск появления гидроударов использование средств автоматики. Так как одной из причин возникновения ГУ является резкое включение/отключение насосного оборудования, рекомендуется использовать устройства плавного пуска насосов. Управление насосов можно производить с помощью частотных преобразователей, регуляторов и т.п.

Таким образом, надежная работа тепловых сетей и безаварийность теплоснабжения во многом зависит от качества защиты от гидравлических ударов. Средства защиты должны быть предусмотрены в самих тепловых сетях, в системах потребления и на источниках тепла. В первую очередь, они должны обеспечивать поддержание рабочих параметров среды, а также надежную защиту оборудования при аварийных ситуациях. Вдобавок, предотвращение аварийных ситуаций приведёт к значительной экономии, так как сокращаются расходы на ремонт и замену оборудования.

Литература

1. Доклад «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах». Жуковский Н.Е., 1899.
2. Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей. Минск, 200

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

УЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ В МЕХАНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ГИБКИХ ПРОВОДОВ

Никитин Е.А.

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

ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТОРА

Люкевич В. В., Марчук К.А.

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

ЭНЕРГЕТИКА БЕЛАРУСИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Шевченко В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАШИН ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Савошко М.В., Наварич К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С. В.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ – ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО

Охотенко А.В., Гидревич А.С.

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

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ДИОДОВ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ

Коршак В.Е.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Сташкевич В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

«БЕЛЫЙ» ШУМ

Родевич В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

«ПЛЮСЫ» И «МИНУСЫ» АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Труханович Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

ДЕГРАДАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ В ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ

Федорович Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР

Парахневич Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

ЭНЕРГЕТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЮЩИЕ

Мельников Р.О.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Сизиков С.В.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Крошенко Д.С.

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

СРАВНЕНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ, БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА, АССИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Щадинский А. А.

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

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ

Зайцева А.А., Альмухаметов Д.М.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Суходолов Ю.В.

СРАВНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ ПО КОНСТРУКЦИИ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Зайцев М.А.

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

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ – КЛЮЧЕВОЙ ВОПРОС РАЗВИТИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Минько М.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В КОМПЬЮТЕРАХ

Куропатский А.П., Куцко И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

УСТРОЙСТВА ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ОБЩЕНИЯ С ТЕХНИКОЙ

Мороз М.А, Сенькевич И.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

МАТРИЦЫ ЦИФРОВЫХ ФОТОАППАРАТОВ

Казак А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ВОДОРОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Клюев В.В, Евсиевич И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ВИДЕОКАРТ

Сакель Б.В., Жуковец М.Р.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ НА КУХНЕ

Ясевич В.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Барташевич Г.А., Ермакова А.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ШИФРОВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ ВРЕМЁН ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Коротченков Е.С., Гук Т.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Федюкова М.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Протащик Е.В

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Торгоня А.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА С БЕСКОНТАКТНОЙ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цыганков Н.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПОСОБА РАСПОЗНАВАНИЯ РАКА ЛЕГКИХ НА БОЛЕЕ РАННИХ СТАДИЯХ

Лобиков С.А. Макович И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

ДОМАШНЯЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Рабченя Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Матыркин Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Латушкин С.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИХ ГОЛОСОМ

Пляхина Д.В., Шкурко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПРИНТЕРОВ

Лапин А.И., Лавринович В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

УДК 621.315.176

УЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ В МЕХАНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ГИБКИХ ПРОВОДОВ

Никитин Е.А.

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

Задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств (РУ) и воздушных линий (ВЛ) является определение тяжений и стрел провеса в различных климатических режимах. В [1] выведены формулы для кривой провисания провода при наличии одной или нескольких сосредоточенной сил и различных натяжных гирляндах изоляторов в пролете. Были получены формулы для нахождения расстояния до максимальной стрелы провеса. Выведены формулы расчета коэффициента нагрузки для решения уравнения состояния в случае разных гирлянд в пролете при одной и нескольких сосредоточенных силах. Для достоверности формул проведено сравнение и получено совпадение результатов для частного случая расположения гирлянд. Приводится алгоритм расчета стрел провеса при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также в случае расположения точек подвеса провода на разных высотах. Предложена формула для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием сосредоточенных сил, равномерно распределенных вдоль пролета, и разных гирлянд изоляторов в пролете.

Цель статьи – определение коэффициентов для расчета стрел провеса и тяжений при горизонтальных сосредоточенных нагрузках. Они появляются при действии ветра на конструктивные элементы РУ и ВЛ: распорки, заградительные шары, спуски к электрическим аппаратам. При отсутствии ветра горизонтальные сосредоточенные нагрузки и, следовательно, отклонения возникают при некилевом расположении спусков.

Расчетная схема горизонтальной проекции пролета представлена на рис. 1.

На рис. 1 показано положительное направление скорости ветра V , совпадающее с направлением горизонтальной оси z . Ветровые нагрузки действуют на провод и гирлянды изоляторов с силой

$$Q_{z1} = q_z l_1; Q_{zr1} = q_{zr1} l_{r1}; Q_{zr2} = q_{zr2} l_{r2},$$

где q_z – погонная горизонтальная нагрузка проводов фазы;

q_{zr1} , q_{zr2} – погонная горизонтальная нагрузка первой и второй гирлянд изоляторов;

$$l_1 = l - l_{r1} - l_{r2};$$

l – длина пролета;

l_{r1} , l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

В горизонтальной плоскости действуют n сосредоточенных сил P_{zi} ($i = 1..n$) от распорок, заградительных шаров или спусков к электрическим аппаратам.

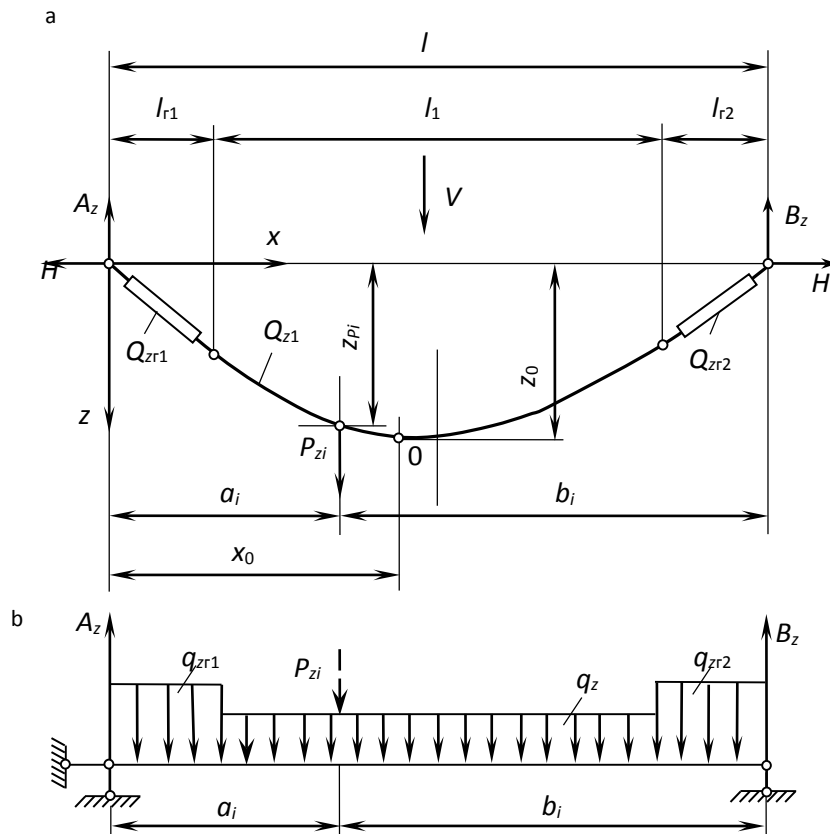


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета:

- а – пролет с горизонтальными нагрузками от провода q_z , гирлянд изоляторов q_{zr1} , q_{zr2} и горизонтальными сосредоточенными силами P_{zi} ;
- б – пролет в виде простой разрезной балки с шарнирными опорами

Отклонение провода в двух плоскостях находится независимо друг от друга. Полученные в [1] выражения могут применяться независимо и для горизонтальных составляющих нагрузок. В [1] было получено выражение для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса в вертикальной плоскости. Для горизонтальной плоскости при равномерно распределенных вдоль пролета одинаковых по величине и направлению сосредоточенных нагрузках коэффициент увеличения можно записать так:

$$K_{fz} = \frac{1 + 2\delta_{z1} + 2\delta_{z2} + (\delta_{z1} - \delta_{z2})^2 + K_{Pz}(1 + 1/n)}{\cos\theta},$$

где $\delta_{z1} = (K_{z1} - 1)K_{r1}^2$; $\delta_{z2} = (K_{z2} - 1)K_{r2}^2$ – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов при действии на них ветровой нагрузки;

$K_{z1} = \frac{q_{zr1}}{q_z}$; $K_{z2} = \frac{q_{zr2}}{q_z}$ – кратности горизонтальных погонных нагрузок первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно горизонтальной погонной нагрузки провода;

$K_{r1} = \frac{l_{r1} \cos \theta}{l}$; $K_{r2} = \frac{l_{r2} \cos \theta}{l}$ – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета;

$K_{Pz} = \frac{P_z \cos \theta}{q_z l}$ - коэффициент горизонтальных сосредоточенных сил;

$P_z = \sum_{i=1}^n P_{zi}$ – суммарная сила n горизонтальных сосредоточенных нагрузок;

θ – угол наклона пролета ($\text{tg} \theta = h/l$), h – разность высот подвеса проводов.

Максимальное горизонтальное отклонение в этом случае рассчитывается как

$$z_0 = \frac{q_z K_{fz} l^2}{8H}, \quad (1)$$

где K_{fz} – коэффициент увеличения горизонтального отклонения;

H – горизонтальная проекция тяжения в проводе.

Коэффициент увеличения отклонения, обусловленный наличием натяжных гирлянд и горизонтальных сосредоточенных сил, определяется по выражению:

$$K_{fz} = \frac{8Hz_0}{q_z l^2}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ($q_z = 0$) лучше пользоваться формулой нахождения произведения $q_z K_{fz}$:

$$q_z K_{fz} = \frac{8Hz_0}{l^2}. \quad (2)$$

Результирующая стрела провеса в наклонной плоскости рассчитывается после нахождения составляющих в обеих плоскостях [1].

Длина эквивалентного провода (системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов») определяется [1]

$$L = l + \frac{l^2 l_1 [(q_y K_y)^2 + (q_z K_z)^2]}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2}, \quad (3)$$

где интеграл D рассчитывается как:

$$D = D_y + D_z; D_y = \frac{l^2 l_1 (q_y K_y)^2}{12}; D_z = \frac{l^2 l_1 (q_z K_z)^2}{12};$$

K_y, K_z – коэффициенты нагрузки, учитывающие конструктивные элементы для различных климатических нагрузок, определяемые для двух плоскостей как

$$K_y^2 = \frac{12D_y}{q_y^2 l^2 l_1}; K_z^2 = \frac{12D_z}{q_z^2 l^2 l_1}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ($q_z = q_{zr1} = q_{zr2} = 0$) лучше пользоваться формулой нахождения произведения $q_z K_z$:

$$q_z K_z = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{12D_z}{l_1}}. \quad (4)$$

При известных конфигурациях приложения распределенных и сосредоточенных сил интеграл определяется в общем виде по формулам

$$D_y = \int_0^l Q_y^2(x) dx, \quad D_z = \int_0^l Q_z^2(x) dx,$$

где $Q_y(x)$, $Q_z(x)$ – балочные поперечные силы в вертикальной и горизонтальных плоскостях.

Литература

1. Бладыко, Ю.В. Механический расчет гибких токопроводов с сосредоточенными нагрузками / Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 2. С. 103-115.

УДК 621.383.4

ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТОРА

Люкевич В. В., Марчук К.А.

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

В современной медицине, сельском хозяйстве, в полиграфической промышленности очень часто используются фоторезисторы. Фоторезистор — это полупроводниковый прибор, характеризующийся свойством изменять своё электрическое сопротивление под действием оптического излучения, то есть сопротивление никак не зависит от величины напряжения, если сравнивать их с обычным резистором [1]. На схемах, фоторезисторы обозначаются таким образом (рис.1).

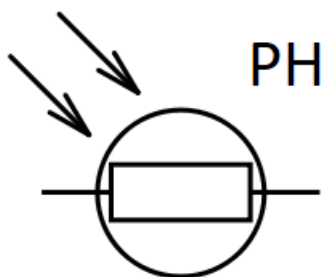


Рисунок 1 – Схема и обозначение фоторезистора

Фоторезистор обычно изготавливается из полупроводникового материала, который используется в качестве резистивного элемента без p-n-перехода. Различают два типа фоторезисторов:

- Внутренний фоторезистор
- Внешний фоторезистор

Чтобы понять принцип работы фоторезистора необходимо ввести два понятия: валентные и свободные электроны. Валентные электроны - это электроны, находящиеся во внешней оболочке атома, а значит нужно приложить небольшое количество энергии, чтобы разорвать связь с ядром.

Свободные электроны - это электроны, не имеющие связи с ядром, следовательно, могут свободно перемещаться при приложении внешней энергии. Свет, падающий на фотопроводящий материал, поглощается им, а это значит, что валентные электроны получают энергию необходимую для разрыва связи с ядром, что в свою очередь приводит к появлению свободных электронов.

Таким образом, когда мы говорим, что сопротивление уменьшается с увеличением интенсивности света, это просто означает, что проводимость увеличивается с увеличением интенсивности света, падающего на фоторезистор. По мере того, как увеличивается интенсивность света, падающего на фотопроводящий материал, электроны попадают в зону проводимости, а также часть электронов проводимости сталкивается с атомами, ионизирует их и создает дополнительный поток электронов (возникает фототок проводимости) [2]. Фототок описывается следующей формулой:

$$I = \frac{E}{R_H + R_T}, \tag{1}$$

где R_H - сопротивление нагрузки, Ом;

R_T - темновое сопротивление фоторезистора, Ом.

Главным параметром фоторезистора является его темновое сопротивление. Темновое сопротивление фоторезистора — это сопротивление при полном отсутствии света. Величина темнового сопротивления R_T зависит от формы, размеров, температуры и материала фоточувствительного элемента фоторезистора и колеблется в очень широких пределах от единиц МОм до десятков Ом.

Сопротивление фоторезистора можно рассчитать по формуле:

$$R_{\Phi P} = \frac{R_T \cdot R_e}{R_T + a \cdot \Phi^{-\gamma}}, \tag{2}$$

где R_e - световое сопротивление, Ом;

R_T - темновое сопротивление фоторезистора, Ом;

a - коэффициент, зависящий от материала и формы фоторезистора;

Φ - световой поток, лм;

γ - коэффициент, изменяющийся в пределах от 0,5 до 1.

Под действием светового излучения величина сопротивления фоторезистора быстро уменьшается. Типичная зависимость сопротивления от освещенности имеет вид (рис.2).

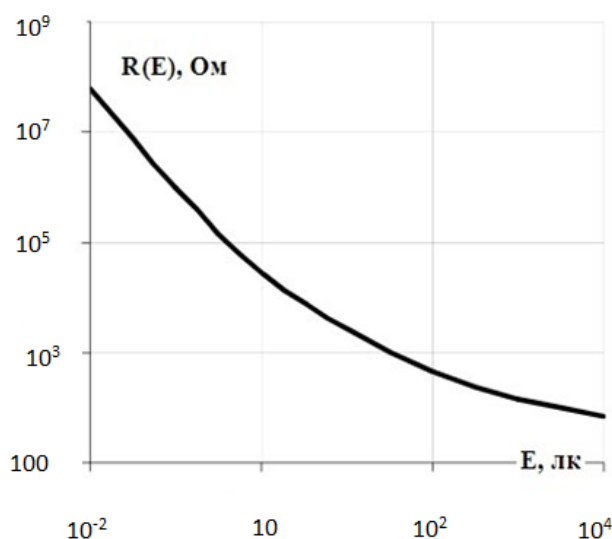


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления от освещенности

Эквивалентную схему фоторезистора можно представить в виде параллельного соединения темнового R_T и светового R_e сопротивлений.

На основе этих свойств, в промышленности и повседневно используемой электронике фоторезисторы могут быть использованы с целью измерения освещенности, подсчета количества чего-либо, определения препятствий и другого. Главная его цель — переводить количество освещения, поступающего на чувствительную область, в полезный электрический сигнал. Сигнал, впоследствии, может быть обработан аналоговой, цифровой логической схемой либо схемой на основе микроконтроллера.

Литература

1. Марков, М.Н. Приемники инфракрасного излучения / Марков М.Н. -2-е изд.- Москва: Наука, 1968. - 168 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине электроника / Ю.В. Бладыко, И.П. Матвеевко, Т.Е. Жуковская. - Минск: БНТУ 2019. - 29 с.

УДК 620.9

ЭНЕРГЕТИКА БЕЛАРУСИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Шевченко В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Энергетика – одна из ключевых отраслей национальной экономики Белоруссии. Направления ее развития определяются стратегий государства и рядом программ, обеспечивающих поддержку со стороны властей в достижении обозначенных приоритетов.

На январь 2013 года энергосистема Беларуси представляет собой огромный комплекс:

- Установленная мощность электростанций энергосистемы составляет 8,863 тыс. МВт.
- Протяженность электросетей — 256 тыс. км.
- Протяженность тепловых сетей — 5,7 тыс. км.
- Конденсационных электростанций (КЭС) – 3 шт, 4137 МВт.
- ТЭЦ высокого давления – 33 шт, 4060 МВт.
- ГЭС – 23 шт, 26 МВт.
- Промышленных блок-станций – 498 МВт.
- ТЭЦ среднего и малого давления – 141 МВт.

В целях развития технического потенциала Белорусской энергосистемы разработана Государственная программа развития энергетики на 2011–2015 годы, предусматривающая ряд мероприятий, выполнение квот позволит повысить уровень энергетической безопасности нашей страны. В первую очередь программа предусматривает реконструкцию ряда электростанций с применением новых современных парогазовых технологий, что позволит ввести в эксплуатацию более 3 тыс. МВт эффективных энергетических мощностей и вывести более 2 тыс. МВт уже отработавших. Программой предусматриваются также продолжение модернизации и развития основных конденсационных электростанций – Лукомльской и Березовской ГРЭС, где запланировано строительство крупных парогазовых энергоблоков мощностью 400 МВт, ввод в эксплуатацию энергоблока Минской ТЭЦ-5, установка газовых турбин мощностью 70 МВт на Витебской, Новополоцкой ТЭЦ и Бобруйской ТЭЦ-2, установка на базе существующих котельных в городах Борисове и Могилеве парогазовых энергоблоков мощностью 64 и 15 МВт соответственно, будут продолжены работы по замене физически изношенного оборудования на других электростанциях энергосистемы.

Электроэнергетическая система – объединение электростанций, связанных линиями электрической передачи (ЛЭП) и совместно питающих потребителей электроэнергией.

Электроэнергетика Беларуси – это объединенная энергетическая система, которая представляет собой постоянно развивающийся высокоавтоматизированный комплекс, объединенный общим режимом работы и единым централизованным диспетчерским управлением. Отрасль надежно и

бесперебойно осуществляет выработку, передачу и распределение электрической и тепловой энергии.

Современная Беларусь – быстроразвивающееся государство, находящееся в центре Европы. Поэтому её экономика с каждым годом требует всё больше топливных ресурсов. За счёт местных ресурсов наша страна может удовлетворить свои потребности не более чем на 10%, так как крупных залежей топливно-энергетических ресурсов у нас нет. Сама Республика Беларусь относится к странам, небогатым топливными ресурсами, поэтому свои потребности она вынуждена удовлетворять за счёт импорта ресурсов, преимущественно из России. Однако есть некоторые исключения в сфере природных ресурсов.

Исключение первое: месторождения нефти в Гомельской области, общее число которых составляет 66. Из них разрабатываются 44, ещё 10 законсервированы, а остальные только разведываются. Причём надо учесть ещё тот фактор, что большинство их по размерам небольшие, что объясняется геологической историей Беларуси. В то же время экономико-географические условия добычи нефти в нашей республике чрезвычайно благоприятные, чему способствует наличие квалифицированной рабочей силы, близость центров переработки и потребителей готовой продукции. Квалифицированность рабочей силы подтверждается тем, что белорусские нефтяники работают на месторождениях нефти в России, Венесуэле и Иране.

С 1997 года в Республике Беларусь ежегодно добывается 1,8 млн. тонн нефти (35 тыс. баррелей в сутки). В дальнейшем её добыча должна сократиться до 1,1 млн. тонн (21 тыс. баррелей в сутки). Для сравнения, в данное время Россия после сокращения нефтедобычи на 20% добывает 8 млн. баррелей в сутки. Поэтому Беларусь вынуждена импортировать в больших количествах нефть из-за рубежа - приблизительно 25 млн. тонн в год. Правда, в условиях нынешнего экономического кризиса и падения цены на нефть это требует гораздо меньше расходов.

Параллельно нефтяной отрасли получила развитие и нефтехимическая отрасль, основные предприятия которой "Нафтан" в Новополоцке и Мозырьский нефтеперерабатывающий завод. Нефть им поставляется через нефтепровод "Дружба", причём часть её добывается в Беларуси и закачивается в данный нефтепровод. Заводами выпускаются путём фракционного расщепления нефти методом каталитического крекинга бензин керосин, дизельное топливо, мазут, смазочные масла, битумы, пластмассы и т.д.

Исключение второе: месторождения торфа, которых в республике более 9,2 тысяч. В них содержится 5,7 млрд. тонн торфа, из которого только 260 млн. тонн или 4,6% от общего количества пригодно для использования в качестве топлива. Ранее, в 1960-1970 гг. энергетика Беларуси строилась исключительно на торфе, которого добывалось по 8-9 млн. тонн в год. Сейчас добыча торфа сократилась до 2,1 млн. тонн. Причина - быстрое истощение запасов торфа и их медленная возобновляемость, а также большая лёгкость эксплуатации электростанций на газу или топочном мазуте. Самый крупный торфозавод находится в г. п. Старобин. На территории Жабинковского района находится Гатча-Осовский

торфяной завод. Основной продукцией, выпускаемой белорусскими торф заводами является торфобрикеты.

Исключение третье и четвертое: месторождения бурого угля и горючих сланцев. Запасы бурого угля оцениваются в Республике Беларусь, а размере 250 млн. тонн, из которых 72 млн. тонн приходится на Житковичское месторождение. Совокупные запасы горючих сланцев Туровского (Гомельская область) и Любанского (Минская область) оцениваются примерно в 4 млрд. тонн.

Бурый уголь может использоваться для производства торфобрикетов, а горючие сланцы в качестве топлива или технологического сырья, в том числе и для химической промышленности.

Кроме того, есть ещё один вид топлива - древесина. К сожалению, её запасы у нас ограничены. В год добывается 9 млн. куб. м древесины, ещё 1 млн. куб. м завозится из России.

Таким образом, длительные перспективы развития Республики Беларусь на собственном сырье нереальны, из-за ограниченности ресурсов и больших затрат, связанных с переходом на новые виды топлива.

Ещё одним видом топлива, который массово импортируют из России, является природный газ. Объём его импорта уже перевалил за 20 млрд. куб. м. При переходе нашей страны на рыночную цену газа с 2011 года, которая сейчас превышает 400\$ за 1000 куб. м, это будет весьма серьёзной нагрузкой на бюджет. Возможность резкого падения цен на газ, как на нефть, стоит под большим вопросом. В декабре 2008 года прошёл саммит 15 стран - мировых лидеров по добыче газа, собрались на форум GECF (Gas Exporting Countries Forum), лидерами в котором являются Россия, Катар и Иран. В том числе обсуждались меры по недопущению падения цен на газ, которые в итоге и были приняты.

В самой Беларуси газ добывается на единственном газоконденсатном месторождении в Красносельске (недалеко то Речицы). Газовая промышленность в Беларуси представлена тремя ветками газопровода Торжок - Минск - Ивацевичи и газопроводом Ямал - Европа, который был введён в строй в 1999 году. Кроме того, есть ещё и два газохранилища: Прибугское (Брестская область) и Осиповичское (Могилёвская область). В Республику Беларусь завозится и каменный уголь в количестве 2,2 млн. тонн, в основном из России (99,8%), а также Польши и Украины. Это - важное топливно-энергетическое и химическое сырьё. Однако использование каменного угля в качестве коммунально-бытового топлива постоянно падает. Это создаёт благоприятные условия для отказа от этого вида топлива, использования которого сильно загрязняет окружающую среду.

Таким образом, наша страна сильно зависит от импорта топливно-энергетического сырья из-за рубежа, в основном от Российской Федерации. Все вышеперечисленные виды топлива используются и для выработки электроэнергии в нашей стране. Интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса в республике в 60 - 70-х годах (электростанций, электрических и тепловых сетей, газо- и нефтепроводов) способствовало созданию мощной энергетической базы экономики страны. В дальнейшем темпы

обновления основных фондов в энергетике были ниже, темпов старения ранее созданных мощностей и в результате к 2005 году уровень износа достиг 60,7%.

Сложившееся положение не способствовало обеспечению энергетической безопасности государства, а непринятие срочных мер по изменению динамики старения основных фондов могло привести к значительному народно-хозяйственному ущербу из-за перерывов в энергоснабжении отраслей экономики и населения.

Учитывая высокую капиталоемкость и относительно длительный период создания новых мощностей, большой срок окупаемости проектов, особую социальную значимость энергоносителей в обществе для обеспечения комфортных условий и материального благосостояния населения, требуется заблаговременно планировать пропорциональное и взаимосвязанное развитие всех звеньев этого процесса.

Производственный потенциал белорусской энергосистемы представлен 27 крупными электростанциями, 25 районными котельными, включает почти 7 тыс. км системообразующих линий электропередач высокого напряжения и около 5 тыс. км тепловых сетей. Установленная мощность в 2004 г. составляла 7847 МВт и возросла по сравнению с 1991 г. на 1,1 млн. МВт. В период после 1991 г. развитие отрасли замедлилось, что обусловлено общим экономическим спадом и снижением энергопотребления. Так, в 1995 г. электропотребление находилось на самом низком уровне – 32 млрд. кВт•ч, или на 34,5% ниже, чем в 1990 г. Имеющаяся мощность электростанций позволяет выработать около 45 млрд. кВт•ч электроэнергии.

Высокая степень импорта электроэнергии в объеме общего потребления свидетельствует об экономической целесообразности ее приобретения, что обусловлено отставанием цен на газообразное топливо по сравнению с мазутом, а также высокой степенью интегрированности белорусской и российской энергосистем. В структуре генерирующих мощностей 52,5% приходится на тепло-электроцентрали (ТЭЦ), производящие комбинированную выработку электро- и теплоэнергии, и 43,8% -- на конденсационные (ГРЭС), производящие электрическую энергию. Кроме тепловых электростанций в энергосистеме работают 25 малых гидроэлектростанций общей установленной мощностью 11,9 МВт и 19 блок-станций установленной мощностью 163,1 МВт. Наиболее крупными АЭС в стране являются Осиповичская (2,2 тыс. кВт) на реке Свислочь и Чигринская (1,5 тыс. кВт) на реке Руть.

Наиболее крупными тепловыми электростанциями являются Березовская ГРЭС (995 МВт), Новополоцкая ТЭЦ (505 МВт), Минская ТЭЦ-4 (1030 МВт), Гомельская ТЭЦ (540 МВт).

Особое внимание в стране уделяется активизации внедрения нетрадиционных источников энергии. В рассматриваемом периоде был осуществлен пуск ветроэнергетической установки (ВЭУ) в деревне Дружная Мядельского района Минской области. Однако использование существующих способов преобразования энергии в электроэнергию с помощью традиционных лопастных ВЭУ в условиях Беларуси экономически не оправдано. Для эффективной работы ВЭУ необходима пусковая скорость ветра 4-5 м/с, а

номинальная скорость – 15 м/с. В условиях слабых континентальных ветров (3-5 м/с), характерных для страны, массовое внедрение ВЭУ нецелесообразно. Областью применения могут быть только привод насосных установок небольшой мощности и подогрев воды в сельскохозяйственном производстве. Современнейших технологий, что позволило повысить мощность энергоблока на 7 МВт и снизить удельный расход топлива на 7,5 г/кВт•ч. /дальнейшая модернизация и реконструкция оборудования станции позволит повысить конкурентоспособность вырабатываемой электроэнергии по цене, продлить парковый ресурс энергетического оборудования.

Топливо-энергетический комплекс. Энергетика Беларуси во многом зависит от поставок энергоносителей из партнерских государств. Также на территории страны расположены два нефтеперерабатывающих завода – Мозырский и Новополоцкий, производящие ресурсы для выработки энергии. В начале 2000-х годов производственные мощности страны были усовершенствованы в соответствии с требованиями европейского рынка. В то же время осуществлялось плановое увеличение объемов производства топливного энергоресурса.



Рисунок 1 – «Мини-тэц»

На протяжении 2012 года 30,8 миллиардов кВт•ч было выработано на теплоэлектростанциях, 70 миллионов кВт•ч – на гидроэлектростанциях и 6 миллионов кВт•ч – на прочих видах электростанций. В 2013 году общий показатель произведенного электричества всеми видами альтернативной энергетики составил 146 миллионов кВт•ч.

Функции управления деятельностью электроэнергетического комплекса возложены на производственное объединение «Белэнерго». В его состав входят несколько областных предприятий, включая «Минскэнерго». Государственная энергосистема полностью обеспечивает нужды республики в электроэнергии. Этому способствуют следующие показатели:

- общая мощность электростанций достигает 8,317 тысяч МВт;
- протяженность электросетей – 256 тысяч километров;
- длина тепловых сетей – 4,99 тысяч километров.



Рисунок 2 – Авария на АЭС Три-Майл-Айленд

Постоянное совершенствование производственных фондов, вложения средств в мероприятия, направленные на сбережение энергии, а также использование местного топлива в больших количествах позволяют снижать энергоемкость и повышать потребление неисчерпаемых энергоресурсов.

Доминирующее положение там сохраняют тепловые электростанции. Их доля в структуре установленной мощности в 2010 году составляла 99,8%, однако на протяжении последних лет она незначительно снижалась до 99,6% в 2013 году. В первую очередь это произошло за счет ввода в эксплуатацию мощностей ГЭС. Суммарная мощность ГЭС выросла с 16 МВт в 2010 году до 32 МВт в 2013 году. На один МВт выросла установленная мощность ветроэлектростанций. Таким образом, хотя рост источников электрической энергии наблюдается, но динамика изменения выработки электрической энергии на возобновляемых

источниках энергии не позволяет говорить о значительном влиянии возобновляемых источников энергии на работу энергосистемы в обозримом будущем.

При этом по выработке энергии из возобновляемых источников энергии на первое место вышла Гродненская область, обогнав Минскую область. Выработка электроэнергии в Гродненской области выросла с 35 млн. кВт•ч в 2012 году до 101 млн. кВт•ч в 2013 году. Такой рост обусловлен вводом Гродненской ГЭС.

В структуре установленной мощности ТЭС по типу электростанций наблюдаются более существенные изменения. Доля парогазовых установок выросла с 3,5 процентов в 2010 году до 8,3% в 2013 году. Резкий скачок установленной мощности ПГУ произошел в 2012 году, когда установленная мощность выросла в 2,11 раза и достигла 8,4% в структуре установленной мощности ТЭС. Их суммарная мощность достигла 765 МВт на начало 2014 года. Аналогично значительными темпами растет доля газотурбинных установок. В период с 2010 года по 2014 их доля выросла в 2,7 раза и достигла 4,1% в общей установленной мощности теплоэлектростанций. Доля двигателей внутреннего сгорания также растет, правда темп роста их не такой значительный. За период 2010-2014 года их установленная мощность выросла с 254 МВт до 373 МВт. Незначительно снизилась установленная мощность паротурбинных установок и блоков, работающих в комбинированном режиме. Установленная мощность паротурбинных блоков, снизилась с 6709 МВт в 2010 году до 6687 МВт в 2013 году, а их доля сократилась с 79,4% до 72,6%, но они по-прежнему остаются основой генерирующей мощи белорусской энергосистемы.

Анализ структуры генерирующих мощностей в разрезе областей показывает, что первое место прочно удерживает Витебская область с Лукомльской ГРЭС и Новополоцкой ТЭЦ.

В 2012 году практически в два раза выросла установленная мощность ГЭС и осталась на этом уровне в 2013 году. В августе 2012 года запустили Гродненскую ГЭС. Этим объясняется резкий рост установленной мощности на 1 января 2013 года до 31 МВт по сравнению с 15 МВт в начале 2012 года.

В 2011 году произошло незначительное снижение установленной электрической мощности (-0,5%), но в последующие годы наблюдается ее рост, который составляет до 5% в год (2013 год). На начало 2014 года установленная мощность составила 9 212 МВт. При этом темп роста установленной мощности превышает темп роста выработки электрической энергии, и как следствие, коэффициент использования установленной мощности (далее - КИУМ) с каждым годом снижался. В 2010 году КИУМ был равен 47%, а к 2013 году он постепенно снизился до 40%.

Возобновляемые источники энергии. Существенно увеличить производство электроэнергии при помощи возобновляемых ресурсов удалось после начала функционирования Гродненской гидроэлектростанции. Данная ГЭС была введена в эксплуатацию в 2012 году и является крупнейшей в республике.

Среднегодовой объем использованной для выработки энергии древесины составляет 1,4 миллиона тонн «условного топлива». Максимальный показатель

использования возобновляемых источников энергии при этом достигает только 6,6 миллионов т.у.т.



Рисунок 3 – Строительство Полоцкой ГЭС.

Гидропотенциал Беларуси был оценен в 2,5 миллиарда кВт•ч ежегодно и реализуется на 40 малых гидроэлектростанциях мощностью 31,7 МВт и общей годовой выработкой порядка 120 миллионов кВт•ч. В данное время осуществляется строительство Витибеской и Полоцкой ГЭС, также запланировано возведение Неманской, Верхнедвинской и Бешенковичской гидроэлектростанций.

Технический ветропотенциал республики составляет 300-400 миллиардов кВт•ч в год, но по причине преобладания ветров с небольшой скоростью экономический потенциал существенно меньше. В 2011 году в Беларуси заработала ветроэнергетическая установка мощностью 1,5 МВт, которая стала самой высокой в своем роде на территории СНГ. Выработка установки составляет порядка 3,8 миллионов кВт•ч электроэнергии в год, чего достаточно для обеспечения потребностей населения районного центра.

Электроэнергетика Беларуси на современном этапе. Современная электроэнергетика республики представляет собой динамично прогрессирующий комплекс, объединенный централизованным контролем и единым режимом функционирования. Энергетика представлена системой различных установок, начиная от сложноустроенных электростанций и заканчивая распределительными шкафами, которые отвечают за прием и распределение электроэнергии.

Ключевую роль в электроэнергетике играют белорусские электростанции, подразделяющиеся на конденсационные тепловые станции и теплоэлектроцентрали. В общей мощности доля данных электростанций составляет 43,7% и 56,3%, соответственно.

Лукомльская конденсационная электростанция производит свыше 40% всей электроэнергии и в качестве топливного ресурса потребляет топочный мазут и газ. Среди теплоэлектроцентралей наиболее мощными являются Гомельская ТЭЦ-2, Новополоцкая ТЭЦ, Бобруйская ТЭЦ-2, Мозырская ТЭЦ. Кроме того, на территории государства функционируют несколько тысяч малых энергетических

установок с пониженными техническими и экономическими параметрами и повышенным потреблением ресурсов.

Состояние электроэнергетики непосредственно влияет на уровень развития Беларуси в целом. В современных условиях электроэнергетика Беларуси является надежно функционирующим комплексом экономики. Предприятия данной отрасли обеспечивают бесперебойное, результативное и надежное снабжение энергией в необходимых количествах без вреда экологии.



Рисунок 4 – «Загрязнение атмосферы Земли»

Ключевой приоритет энергетической политики Беларуси – обеспечение предельной эффективности потребления электроэнергии как средства сокращения расходов граждан на энергоснабжение. Также стратегия развития предусматривает обеспечение динамичного развития энергетической отрасли, уменьшение вредных выбросов и увеличение конкурентоспособности производительных мощностей.

Согласно прогнозам, использование электроэнергии возрастет до 41 миллиарда кВт•ч в 2020 году. Импорт электроэнергии не будет превышать 4 миллиардов кВт•ч и при определенных условиях может прекратиться, так как мощность генерирующих источников предоставит возможность обеспечивать требуемый объем выработки энергии. Предполагается сокращение потребления электроэнергии промышленным сектором на 13-15%. До 2020 года самым востребованным видом топлива останется природный газ, но его доля может сократиться до 60% от общего использования котельно-печного топлива. Эксплуатация атомной энергии до 2020 года не планируется.

Литература

1. Инженерные, экономико–правовые и гуманитарные вопросы энергетики и охраны окружающей среды = Engineering, economical, legal and humanitarian issues of energy

and environmental protection: материалы семинара "Энергетика и охрана окружающей среды"(2012; Минск) / [редколлегия: Г.М. Бровка (главный редактор) и др.]. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2012. – 409, [1] с.

2. Перспективы развития энергетики в XXI веке: материалы II Республиканской научно–практической конференции, Минск, 11-13 мая 2011 г. / [редколлегия: С.М. Силюк и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 79, [1] с.

УДК 621.313

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
МАШИН ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Савошко М.В., Наварич К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С. В.

В наши дни, автоматизированные системы управления чаще всего используют машины двойного питания или МДП. Это дает существенно повысить не только технико-экономические показатели различных технологических установок, но и электроприводов с периодическим законом движения. Такие возможности обусловлены тем, что МДП, как электромеханический преобразователь энергии, характеризуется высокими энергетическими показателями, а также обладает хорошей управляемостью, что обеспечивает большой пусковой момент. Универсальность МДП, вызванная различным количеством витков обмоток статора и ротора, а также их индуктивных сопротивлений, заключается в возможности получить основные разновидности колебательных машин переменного тока:

- синхронную машину с постоянной амплитудой скорости в рабочем режиме, имеющую большой пусковой момент и плавную ресинхронизацию;
- асинхронную машину с мягкой механической характеристикой и большим пусковым моментом;
- шаговый силовой двигатель, в котором из-за большого пускового момента разгон машины до синхронной скорости можно достичь за время, соответствующее одному периоду намагничивающей силы поля статора без потери шага.

Изменять функции регулирования на обмотках вторичного элемента исполнительного двигателя по заданному алгоритму предоставляет возможность осуществлять в ней автоматическое регулирование перегрузочного момента в квазиустановившемся синхронном режиме при различных коэффициентах загрузки, в том числе и при нагрузке большей номинальной.

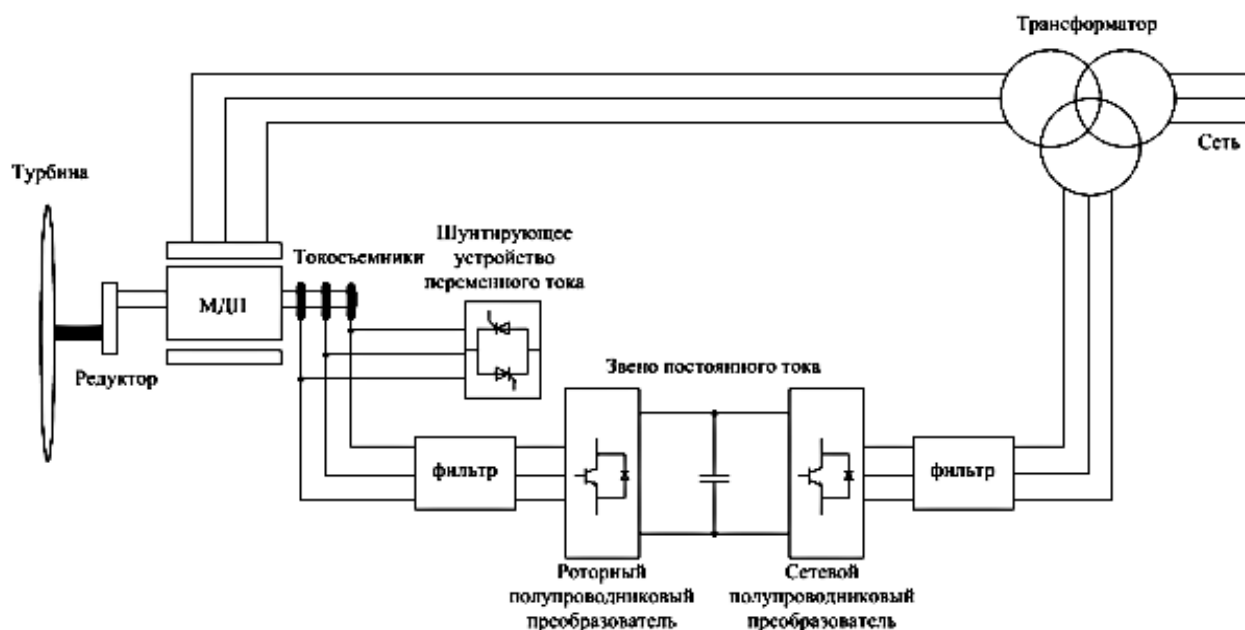


Рисунок 1 – Структура машины двойного питания (МДП)

Рассмотрим, что такое машина двойного питания или МДП. Машина двойного питания – конструктивно это асинхронная машина с фазным ротором, имеющая раздельное питание обмоток статора и ротора, при этом сумма (разность) частот тока питания кратна частоте вращения вала. Но в основе принципа работы МДП заключается схожесть работы синхронной машины, так как токи в роторе получаются не за счёт скольжения последнего относительно поля статора, а за счёт подачи тока от внешнего источника. Машины двойного питания имеют два режима работы: двигательный режим и генераторный режим. Рассмотрим преимущества машин двойного питания:

- возможность работы с частотой вращения вала 6000 об/мин при подключении к промышленной сети и возможность увеличить мощность в 2 раза при тех же размерах, значениях магнитного потока и крутящего момента;
- возможность управлять двигателями статических преобразователей половинной мощности;
- возможность увеличения напряжения в генераторе благодаря использованию последовательного соединения обмоток статора и ротора.
- Но такие машины имеют ряд недостатков:
- возможность выпадения из синхронизма из-за возникновения "качание" ротора, похожее на "качание" у обычных синхронных машин;
- наличие скользящих контактов для передачи тока на ротор.
- мощность, подаваемая на ротор примерно пропорциональна частоте питающего тока.

Машины двойного питания могут применяться в турбогенераторах, ветрогенераторах, двигателях, преобразователей частот и так далее.

В таблице представлены характеристики электродвигателей колебательного движения, с учётом их названия, фирм и выпускаемых ими установок. Но электродвигатели, применение которых нецелесообразно, такие как терма и пневмоэлектрические, химико-тепловые и так далее в таблицу не включены.

Таблица 1 – Характеристики электродвигателей колебательного движения

Типы электродвигателей колебательного движения	Диапазон рабочих частот, Гц	Макс. амплитуда колебаний, мм	Максимальное ускорение, м/с ²	Коэффициент гармоник, %	Вид колебаний	Типы промышленных установок
Механические (кривошипно-шатунные, эксцентрикные)	0,1-2,5 12-200	5-500 0,05-1	125 4-80	– –	линейные линейные	ВУС 500/200; ВМС-3; УВ70-200 (Россия); ST-30/3; ST-80/5 (Германия); EX-30; UB-2000A (Япония); RV-15-30; VMI-2NB (США), ENAR (Испания)
Гидравлические (объёмного, проточного действия)	1-300 0-500	5 10	300 1000	20 20	линейные линейные	УГВ10/150; ВСГ-1; ВС-1; ВП-100 (Россия); 800; 10 (Лозангаузен), ФРГ); P781; PB134 (Амстер, Швейцария)
Магнитомеханические	10-2500	0,05	2000	10	линейные	«Вибратор»
Электромагнитные	20-600 40-300	2 1,5	–	5 8	линейные линейные	ЭВМ-1 (Россия); «Виброфор» (Амстер, Швейцария)
Электродинамические	5-5000 20-10000	12,5 10,9	440 100	10 –	линейные линейные	ВЭДС-200А; ЭДВ-13; АГАТ-80; ВСВ-133 (Россия); V-1000B (В. Британ-Саваж, Великобритания); V-50MKI; VG-109MKI (Гудманс, Великобритания); LPM25 (Пай-Линг ЛТД, Англия; ассоциация «Линг Электроникс» США); VE3200; RF-0005; XL-1400 (Япония)
Электрогидравлические и магнитогидравлические	0,05-50 1-100	400 100	300 120	18 20	линейные линейные	ЭГВ-1-300; ЭГВ-20-200 (Россия); HS-1005; HS-1100 (ИМВ Лаб. КО., ЛТД, Япония); SEV63-100-16; SEV160-160-63 (Инова, Чехия); 205.31; 205.51; 208.11; 208.51 (МТС, США)
Электромашины на базе двигателей переменного тока	10 ⁴ -10 ⁵ 10 ⁴ -4·10 ⁵	10 ⁴ -5·10 ⁴ 10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁵ 5·10 ⁴ -10 ⁵	2 0,1	линейные угловые	–

Механические (кривошипно-шатунные, эксцентрикные) электродвигатели

Преобразование вращательного движения исполнительного двигателя осуществляют механические возбудители колебаний в механические прямолинейные или крутильные колебания. Но преобразование возможно и за счёт эксцентрика, или под действием центробежной силы, создаваемой двумя одинаково не уравновешенными валами, вращающихся в противоположных направлениях. Благодаря конструкции валов появляется возможность достижения закона движения подвижного элемента вибростенда к гармоническому.

Гидравлические (объёмного, проточного действия) электродвигатели

Работа гидравлических двигателей основана на циклическом реверсировании потока жидкости в грузовом цилиндре. Эффективность их работы зависит от способности механизма возвращать и рекуперировать энергию колеблющихся масс для создания последующего движения. Предельные возможности гидра-возбуждения, зависят от количества рабочей жидкости, участвующей в возбуждении, что не позволяет полностью использовать мощность привода на низких частотах (ед. Гц). Они обладают

большой грузоподъемностью и, в основном, предназначены для испытания строительных конструкций на сейсмостойкость.

Электрогидравлические и магнитогидравлические двигатели

Преимуществом таких двигателей являются:

- большой энергоемкости гидравлических исполнительных механизмов;
- высокая точность и быстродействие;
- достижение больших амплитуд колебаний на низких частотах.

Благодаря своей упругости жидкость в исполнительном механизме действует как пружина, что приводит к резонансу на частотах. На частотах выше резонансной усилие возбудителя колебаний уменьшается, ввиду возрастания расхода рабочей жидкости. Амплитуда виброрасмещения на частотах 200...500 Гц составляет доли мкм, а фазовые характеристики затрудняют точное автоматическое управление заданным режимом.

Магнитомеханические двигатели

Переменное усилие является функцией магнитной силы и изменения магнитного сопротивления магнитной системы в зависимости от скорости вращения ротора. Преимущества заключаются в постоянстве создаваемого переменного усилия независимо от частоты его колебаний, а так же простоте управления переменной силой во всем диапазоне рабочих частот, из-за изменения тока возбуждения электромагнита, и малом сопротивлении движению якоря. Форма колебаний магнитомеханических возбудителей близка к синусоидальной форме, и определяется видом зубцов ротора и вставок якоря. Но затруднение изменения частоты обусловлено моментом инерции вращающегося ротора.

Электромагнитные двигатели

Втягивание якоря дважды в воздушный зазор переменного тока обусловлено протеканием по обмоткам переменного тока в электромагнитном возбудителе колебаний. Следовательно, переменное усилие определяется произведением переменного тока на некоторый конструктивный коэффициент, зависящий от числа витков обмотки возбуждения и воздушного зазора между якорем и полюсом магнитной системы. Применяются электромагнитные возбудители колебаний преимущественно для возбуждения колебаний в резонансных вибростендах, которые используются в основном для калибровки виброизмерительной аппаратуры.

Электродинамические двигатели

Принцип работы электродинамического возбудителя механических колебаний основан на взаимодействии переменного тока с постоянным магнитным полем. Отличительными особенностями их является возможность простыми средствами производить регулирование по развиваемой силе, амплитуде перемещения, скорости или ускорению. Но данный класс двигателей плохо работает на частотах ниже 5 Гц.

Электродинамические двигатели

В электрострикционных и магнитоэстрикционных колебательных двигателях используются эффекты изменения размеров тел из соответствующих материалов под воздействием электрического (закон Липпмана) и магнитных (закон Джоуля) полей. Достоинством двигателей такого рода является простота

конструкции, однако недостатками электродинамических двигателей является малая амплитуда колебаний (10–5 ... 10–2 мм) и неспособность регулировать закон колебания.

Электромашинные двигатели на базе двигателей переменного тока

Анализ показывает, что применение большинства из двигателей в автоматизированных системах значительно ограничено. Это следует из наличия дополнительных звеньев преобразования движения, трудностей с конструированием механизма, обеспечивающего плавное изменение амплитуды колебаний рабочего стола в процессе испытаний без остановки установки, отсутствия возможности формирования регулируемых по частоте, амплитуде и форме колебаний, отличных от гармонических составляющих.

Формирование колебательного режима работы в МДП осуществляется за счет создания качающегося электромагнитного поля в воздушном зазоре двигателя.

Если выдвинуть предположение, о том, что магнитная система электрической машины ненасыщенная, следовательно, о характере изменения магнитного поля в воздушном зазоре можно предполагать по пространственному положению результирующего вектора потокосцепления.

При фазовой модуляции аналитические выражения обобщенных векторов фазных потокосцеплений обмоток статора s и ротора r при разночастотном питании симметричной в электрическом и магнитном отношении МДП имеют вид:

$$\bar{\psi}_s = \psi_s e^{j\varphi_s}$$

$$\bar{\psi}_r = \psi_r e^{j\varphi_r}$$

$$\text{где } \psi_s = \psi_{ms} \sqrt{\sin^2(\omega_1 t + \alpha) + \cos^2(\omega_2 t + \beta)};$$

$$\psi_r = \psi_{mr} \sqrt{\sin^2(\omega_1 t + \alpha) + \cos^2(\omega_2 t + \beta)};$$

$$\varphi_s = \varphi_r = \arctg \frac{\sin(\omega_1 t + \alpha)}{\cos(\omega_2 t + \beta)}$$

Здесь ψ_{ms}, ψ_{mr} – амплитудные значения фазных потокосцеплений обмоток электрической машины; $\omega_1, \omega_2, \alpha, \beta$ – круговые частоты и начальные фазы фазных потокосцеплений. Используя масштабный коэффициент $\mu = \psi_{mr} / \psi_{ms}$, перемещение пространственного результирующего вектора потокосцепления θ в воздушном зазоре относительно первичного элемента двигателя можно описать законом

$$\chi_0 = \arg[\psi_0] = \arctg \frac{\sin(\omega_1 t + \alpha)}{\cos(\omega_2 t + \beta)} \pm \arctg \frac{\mu \sin \chi}{1 + \mu \cos \chi}$$

где знак "+" соответствует согласному, следовательно "-" – встречному включению электромагнитных полей соответственно обмоток s и r ; χ – закон движения подвижного элемента двигателя. Причем для двигателей углового

движения $\chi_0 = \phi_0$, а для двигателя прямолинейного движения $\chi_0 = \pi$. χ_0/τ , где χ_0 – линейная координата вектора ψ_0 ; τ – полюсное деление. Проанализировав выражение (1) следует, что в отличие, к примеру, от асинхронных машин, работающих в режиме вынужденных колебаний, в машинах двойного питания происходит дополнительная модуляция электромагнитного поля по фазе, за исключением случая идеального холостого хода, при условии $\mu = 1$

$$\chi_0 = 2 \arctg \frac{\sin(\omega_1 t + \alpha)}{\cos(\omega_2 t + \beta)}$$

Аналогичную модуляцию по амплитуде претерпевает и модуль пространственного результирующего вектора потокосцепления ψ_0 :

$$\psi_{m0} = \psi_s \sqrt{(1 + \mu \cdot \cos^2 \chi)^2 + \mu^2 \sin^2 \chi}$$

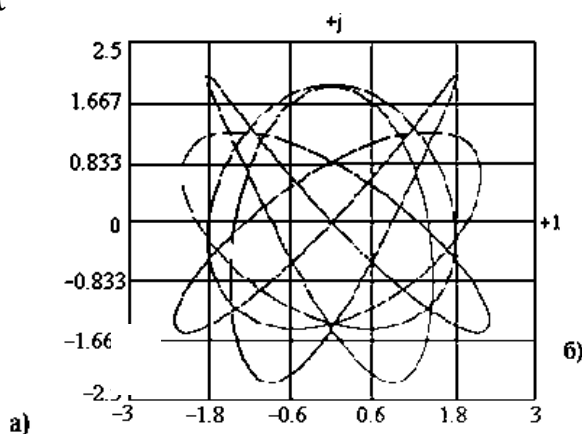
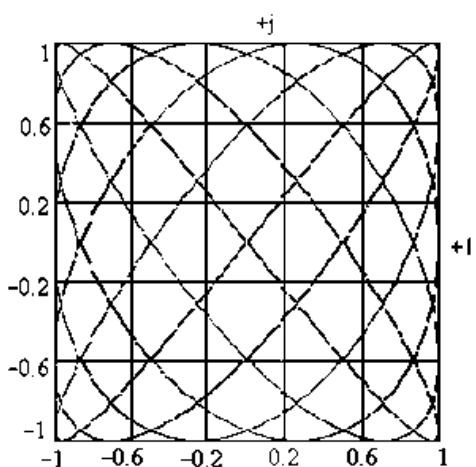


Рис. 1. Годографы векторов ψ_0 при фазовой модуляции питающих напряжений (токов) а) АД и б) МДП; $\omega_1=10$, $\omega_2=9$, $\alpha=\beta=0$

Рисунок 2 – Годограф результирующего вектора потокосцепления МДП и годографа асинхронного двигателя (АД)

В результате годограф результирующего вектора потокосцепления МДП существенно отличаются от годографа асинхронного двигателя АД. В качестве примера на рис. 1 представлены годографы результирующих векторов потокосцеплений для АД (а) и МДП (б) при учете первой гармоники закона движения подвижного элемента двигателя $\chi = \chi_m \sin[(\omega_1 - \omega_2)t + \phi]$, для $\chi_m = 1$, $\omega_1 = 10 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 9 \text{ c}^{-1}$, $\alpha = \beta = \phi = 0$. Так как закон движения подвижного элемента исполнительного двигателя по существу повторяет закон движения электромагнитного поля, то, согласно выражению (1), следует заключение о том что при всех прочих равных условиях работа МДП в режиме вынужденных колебаний характеризуется более высокими выходными параметрами, в качестве которых для систем с периодическим движением вала (штока) принято рассматривать: амплитуду координаты движения подвижного элемента двигателя или его усилия, скорость и ускорение. Наличие дополнительной модуляции колебательного электромагнитного поля МДП в зависимости от координаты подвижного элемента двигателя $\chi(t)$ оказывает существенное влияние на процессы энергообмена в электродвигателях колебательного

движения. Причем, чем больше амплитуда χ_m , тем сильнее искажается модуль пространственного результирующего вектора потокосцепления Ψ_{m0} (рис. 2), и тем сильнее наблюдаются высокочастотные пульсации в кривой скорости электромагнитного поля

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\omega_1 + \omega_2) \cos(\Omega t + \alpha - \beta) + \Omega \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + \alpha - \beta]}{\sin^2(\omega_1 t + \alpha) + \cos^2(\omega_2 t + \beta)} \right\} + \left[\omega \mu \frac{\mu + \cos \chi}{1 + 2\mu \cdot \cos \chi + \mu^2} \right]$$

где ω – скорость движения подвижного элемента двигателя.

Из этого следует существенное изменение как статических, так и динамических характеристик колебательной системы. Во-первых, это связано с тем, что при совершении колебательного движения исполнительный двигатель успевает работать в течение одного периода колебания в режимах электромагнитного тормоза "Т" ($\infty \geq s \geq 1$), двигателя "Д" ($1 \geq s \geq 0$) и генератора "Г" ($0 \geq s \geq -\infty$), и наличие дополнительных пульсаций скорости поля (ω) приводит к перераспределению временных интервалов этих режимов. Процессы внутреннего энергообмена между электрической машиной и сетью повторяются периодически с удвоенной частотой колебаний. В двигательном режиме электрическая машина, потребляя из сети активную мощность, запасает кинетическую и потенциальную энергии в инерционных и позиционных составляющих нагрузки, а в генераторном и тормозных – компенсирует запасенную в нагрузке энергию до момента полного возврата колебательной системы в исходное состояние. Как и для электромеханических систем однонаправленного движения, режим компенсации при колебательном движении может осуществляться с отдачей энергии в сеть (генераторный режим) или с потреблением энергии из сети (режим динамического торможения). Поэтому, естественным путем улучшения энергетических характеристик исполнительного двигателя видится в увеличении режима рекуперативного торможения. Во-вторых, наличие компенсирующей составляющей модуля пространственного результирующего вектора потокосцепления (2), вызванной наличием электромагнитной обратной связи по положению $\chi(t)$, позволяет формировать в МДП резонансный режим работы. Но, при разработке таких систем возникает задача синтеза параметров колебательного электродвигателя, обеспечивающего статическую устойчивость колебательного комплекса при заданных параметрах нагрузки и функций регулирования.

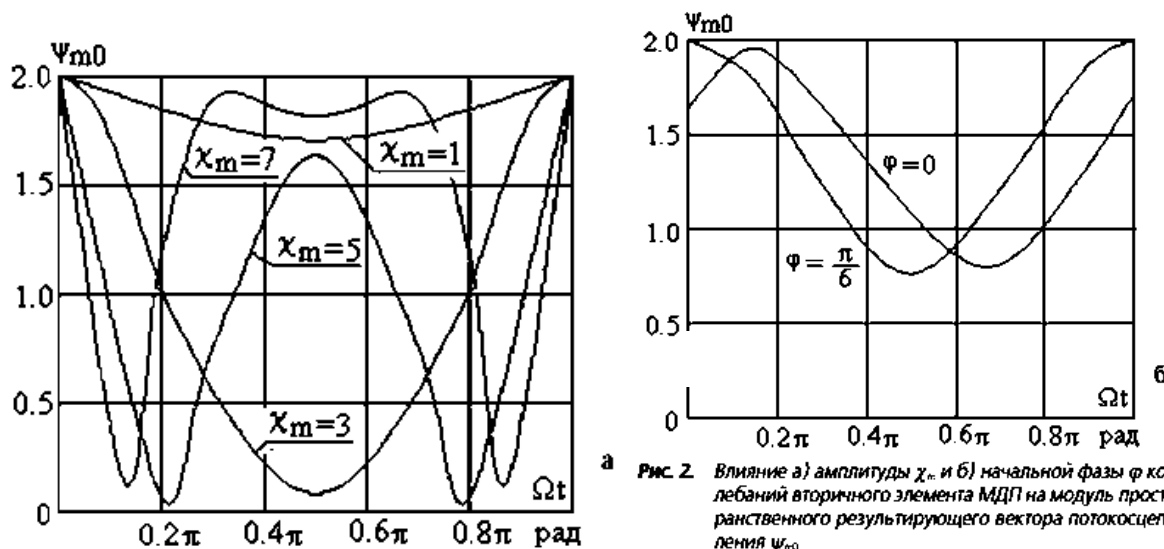


Рисунок 3 – Показания приборов

При рассмотрении существующих электродвигателей колебательного движения для создания современных колебательных комплексов, можно подметить целесообразность решения задачи путём использования управляемых машин переменного тока, в использовании как электрических машин серийного изготовления (асинхронные машины с фазным или короткозамкнутым ротором), так и специально спроектированных для работы в режиме вынужденных колебаний. Стоит учитывать тот факт, что в первом случае использование серийных машин предполагает дополнительные меры, направленные на доработку механических частей двигателя, однако во-втором – следует ожидать более высокие технико-экономические показатели, так как машина проектируется непосредственно для конкретно заданной установки, с учетом свойств всех остальных элементов, входящих в данный колебательный комплекс. Достоинствами в использовании МДП в режиме колебательного движения являются:

- хорошая управляемость электромеханических преобразователей энергии;
- совместимость со средствами вычислительной техники;
- высокой надежностью и низкой стоимостью.

Проанализировав современное состояние и перспективы развития без редукторных колебательных комплексов на базе электрических машин переменного тока, можно заключить, что тенденция создания таких машин, обладающих высокими динамическими и энергетическими характеристиками весьма высока. Применение с этой целью МДП позволяет существенно расширить потребный диапазон угловых (линейных) колебаний по развиваемому усилию, повысить энергетические показатели, получить новые функциональные возможности электропривода колебательного движения.

Литература

1. Аристов А. В. Вопросы исследования, разработки и практического внедрения электроприводов колебательного движения с машиной двойного питания // Современные

проблемы энергетики, электромеханики и электро-технологии. – Ч. 2. – Екатеринбург: Издательство УПИ, 1995. – С. 234–236.

2. Гладков С. Н. Электромеханические вибраторы. – М.: Машиностроение, 1966. – 83 с.

3. Захаров Ю. Е. Исследование гидравлических и электрогидравлических вибраторов. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М.: МВТУ, 1974. – 41 с.

4. Соустин Б.П., Тестоедов Н.А., Рудометкин А.Г., Алькин А.В. Виброиспытания космических аппаратов. – Новосибирск: Наука, 2000. – 175 с.

УДК621.313

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ – ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО

Охотенко А.В., Гидревич А.С.

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

На 2020 год существует множество проблем, связанных с автомобильным транспортом. Среди них проблемы экологии, пробки, недостаточно эффективное использование энергии.

Пробки бывают двух типов: регулярные и нерегулярные. Регулярные связаны с инфраструктурой (светофоры) и эффектом «бутылочного горлышка», когда большое количество полос сходится в меньшее. Нерегулярные возникают из-за человеческого фактора (пассивное/агрессивное вождение). Для решения проблемы дорожных заторов необходимо исключить из «уравнения движения» человеческий фактор и уменьшить количество транспорта на дорогах. Избавиться от светофоров и человеческого фактора позволит использование автопилота и технологии передачи информации о своём местоположении с рекомендациями по скорости. Уменьшить количество автомобилей на дорогах позволит переход на общественный транспорт.

Доля электромобилей быстрыми темпами увеличивается в сегменте транспорта по ряду причин:

- КПД электродвигателей в 2 раза выше, чем у ДВС.
- Может быть более экологически чистым и город меньше задымляется.
- Электроэнергия становится всё дешевле.
- Выше устойчивость и управляемость, за счёт расположения аккумулятора в основании.
- У электротранспорта существует как ряд достоинств, так и недостатки:
- Малый пробег в сравнении с транспортом на нефтепродуктах.
- Большое время заряда аккумуляторов.
- Относительно малый срок службы аккумуляторов.

Для сокращения времени заряда необходимо уменьшать внутреннее сопротивление. Чтобы увеличить срок службы химических аккумуляторов можно использовать углеродные нанотрубки, покрывающие электроды, для замедления прорастания отростков от одного электрода к другому.

Альтернативой химическим аккумуляторам является технология суперконденсаторов. Такой способ накопления позволяет быстро заряжать транспорт. В китайском городе Нинбо действует электробус, которому для зарядки хватает 10 секунд. Но для данной технологии необходимы дорогостоящие и высокомошные зарядные станции. Преимуществом помимо скорости заряда является и долговечность, обусловленная электрическим способом накопления энергии.

Не менее важный момент – электродвигатели. Несмотря на то, что развить двигатели достаточно непросто, можно подобрать наилучшие вариации сборки для общественного электротранспорта.

В качестве стартового двигателя довольно эффективным является двигатель с катящимся ротором. Время разгона без нагрузки у электродвигателя такого

типа не превышает 0,01 секунды. В тоже время, как для асинхронного двигателя, оно составляет 0,2-0,3 секунды. Различие на первый взгляд не значительное, но с добавлением нагрузки разница становится более заметной. Если и применять двигатели с катящимся ротором, то они должны производиться с ротором,двигающимся по эпитрохоиде, такой тип ротора повышает эффективность.

Одним из недостатков такого типа двигателя являются вибрации, которые становятся заметны, на больших скоростях движения. Значит, при продолжительном использовании он будет изнашиваться быстрее, чем асинхронный. А также вибрации могут передаваться на корпус автомобиля и доставлять дискомфорт находящимся в салоне людям. Ещё к недостаткам двигателя такого типа можно отнести сравнительно небольшой срок службы из-за износа катящихся поверхностей.

Из вышерассмотренной информации о роторном электродвигателе можно сделать вывод, что он является хорошим вариантом для старта движения автомобиля. Если рассматривать этот двигатель не как замену, а как дополнение к основному двигателю, то эта комбинация может повысить технические характеристики электромобиля.

Следует подвести итог по рассмотренной информации и определить, что можно изменить для улучшения транспортной системы:

1. Переход на общественный транспорт.
2. Внедрить технологию «общения» между объектами дорожного движения.
3. Аккумулирующие электроэнергию устройства.

Для общественного транспорта отличным решением являются суперконденсаторы, но возникает необходимость в высокомоощных зарядных станциях на каждой остановке. Вариантом, который можно применить как для общественного транспорта, так и для личного будут литиевые аккумуляторы с пластинами, покрытыми слоем из углеродных нанотрубок и минимальным внутренним сопротивлением.

Для транспорта, вынужденного часто тормозить и набирать скорость с места, эффективным будет использование ДКР с ротором, описывающим траекторию эпитрохоиды или совместное его использование с двигателем, имеющим классический тип ротора.

Литература

1. Лашкевич, М. Электродвигатели: какие они бывают / М. Лашкевич // habr [Электронный ресурс]. - 2016. - Режим доступа: https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/371749/. - Дата доступа: 18.09.2020.
2. Tesla Model S – лучший электрокар в мире: характеристики, фото, видео // ЭкоТехника [Электронный ресурс]. - 2015. - Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/stati/291-tesla-model-s-luchshij-elektrokar-v-mire->. - Дата доступа: 19.09.2020.
3. Ездим на батарейках! Ротор и статор в электродвигателе. Что и зачем? / Ездим на батарейках! // Яндекс Дзен [Электронный ресурс]. - 2019. -Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/drift/rotor-i-stator-v-elektrodivigatele-cto-eto-i-zachem-5df721a2fc69ab00ac21641b>. -Дата доступа: 19.09.2020.

4. Двигатели с катящимся ротором // ТОЭхэлп [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <https://toehelp.ru/theory/electromach/lecture13.html>. – Дата доступа: 06.10.2020.
5. Mercedes-Benz EQC // HEVCars [Электронный ресурс]. -2017. – Режим доступа: <https://hev cars.com.ua/mercedes-benz/eqc-80kwh/>. – Дата доступа: 29.09.2020.

УДК 621.38

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ДИОДОВ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ

Коршак В.Е.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Диод является наиболее широко используемым полупроводниковым устройством в схемах электроники. Это двух контактный электрический обратный клапан, который пропускает ток в одном направлении. В основном они состоят из кремния, но также используется германий. Обычно их используют для ректификации. Но есть разные свойства и характеристики диодов, которые можно использовать для разных целей. Эти характеристики изменены для формирования диодов разных типов. В настоящее время доступно несколько различных типов диодов с разными свойствами (рис 1).



Рисунок 1 – Разнообразие диодов и некоторых других элементов

Рассмотрим некоторые из различных типов диодов их свойства и области применения:

р-п-переходный диод

Диод с р-п-переходом изготовлен из полупроводникового материала. Он состоит из двух слоев полупроводников. Один слой легирован материалом р-типа, а другой слой - материалом п-типа. Комбинация этих слоев р- и п-типа образует соединение, известное как р-п-переход. Отсюда и название диод с р-п-переходом.

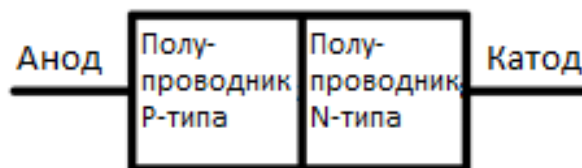


Рисунок 2 – р-n соединение

Он позволяет току течь в прямом направлении и блокирует его в обратном направлении. Они также известны как выпрямительные диоды, используемые для выпрямления.

Существуют различные типы диодов, которые используют р-n-переход с изменением концентрации легирования. Они обсуждаются ниже.

Малосигнальный диод

Это тип диода с р-n-переходом, который работает с сигналами низкого напряжения. Площадь стыка очень мала. Благодаря этому переход имеет меньшую емкость и низкую емкость накопления заряда. Это позволяет малому сигнальному диоду иметь высокую скорость переключения с очень коротким временем восстановления. Однако его ограничениями являются низкие параметры напряжения и тока.

Благодаря высокой скорости переключения эти типы диодов используются в схемах с высокими частотами.

Выпрямительный диод

Это тип диода с р-n-переходом, площадь р-n-перехода которого очень велика. Это приводит к высокой емкости в обратном направлении. Имеет низкую скорость переключения.



Рисунок 3 – Выпрямительный диод

Это самый распространенный и наиболее часто используемый тип диодов. Эти типы диодов могут выдерживать большие токи и используются для преобразования переменного тока в постоянный ток (выпрямление).

Диод Шоттки

Диод Шоттки, названный в честь немецкого физика Вальтера Х. Шоттки, представляет собой тип диода, который состоит из небольшого перехода между полупроводником n-типа и металлом. Он не имеет р-n-перехода.

Плюс диода Шоттки в том, что он имеет очень низкое прямое падение напряжения и быстрое переключение. Поскольку нет емкостного перехода (р-n-переход), скорость переключения диода Шоттки очень высокая.



Рисунок 4 – Диод Шоттки

Ограничение на диод Шоттки является то, что она имеет низкое обратное напряжение пробоя и высокий обратный ток утечки.

Супербарьерные диоды

Супербарьерные диоды (SBR) также являются выпрямительными диодами, но они имеют низкое прямое падение напряжения, как и диод Шоттки. Они имеют низкий ток обратной утечки, как и обычные диоды с p-n-переходом.

SBR использует полевой МОП-транзистор, создавая короткий контакт между затвором и истоком.

SBR имеет низкое прямое падение напряжения, меньший обратный ток утечки и возможность быстрого переключения.

Светоизлучающий диод (LED)

Светоизлучающий диод также является типом диода с PN переходом, который излучает свет в конфигурации прямого смещения.

Светодиод состоит из полупроводника с прямой полосой пропускания. Когда носители заряда (электроны) пересекают барьер и рекомбинируют с электронными дырками на другой стороне, они испускают фотонные частицы (свет). В то время как цвет света зависит от запрещенной зоны полупроводника.

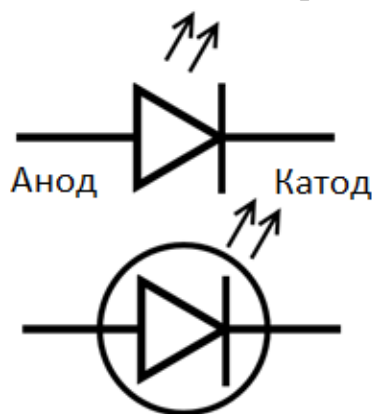


Рисунок 5 – Светоизлучающий диод

Светодиод преобразует электрическую энергию в световую.

Фотодиод

Фотодиод – это тип диода с PN переходом, который преобразует световую энергию в электрический ток. Его работа противоположна работе светодиода.

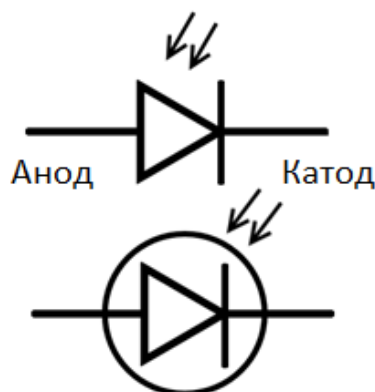


Рисунок 6 – Фотодиод

На каждый полупроводниковый диод влияют оптические носители заряда. Вот почему они упакованы в легкий блокирующий материал.

В фотодиоде есть специальное отверстие, через которое свет проникает в его чувствительную часть.

Когда свет (частицы фотона) попадает на р-п-переход, он создает пару электрон-дырка. Эти электрон и дырка вытекают как электрический ток. Для повышения его эффективности используется PIN- диод.

Фотодиод используется в обратном смещении, и их можно использовать в солнечных элементах.

Лазерный диод

Лазерный диод похож на светодиод, потому что он преобразует электрическую энергию в световую. Но в отличие от светодиода, лазерный диод излучает когерентный свет.

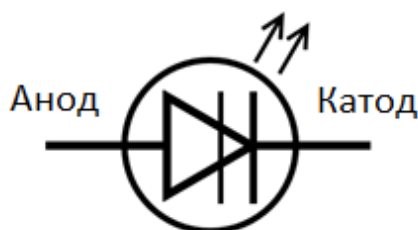


Рисунок 7 – Лазерный диод

Лазерный диод состоит из PIN-перехода, в котором электрон и дырки объединяются во внутренней (I) области. Когда они объединяются, он генерирует лазерный луч.

Лазерные диоды используются в оптической связи, лазерных указателях, приводах компакт-дисков, лазерных принтерах и т.д.

Туннельный диод

Туннельный диод был изобретен Лео Эсаки в 1958 году, за что он получил Нобелевскую премию в 1973 году, поэтому он также известен как диод Эсаки.

Туннельный диод – это сильно легированный диод с р-п-переходом. Работает по принципу туннельного эффекта. Из-за высокой концентрации легирования барьер перехода становится очень тонким. Это позволяет электрону легко выйти через барьер. Это явление известно как туннельный эффект.

Туннельный диод имеет область на кривой, где ток уменьшается с увеличением напряжения. Эта область известна как область отрицательного сопротивления. В этой области туннельный диод работает в различных приложениях, таких как генератор и микроволновый усилитель.

Туннельный диод также проводит ток в обратном направлении и является устройством быстрого переключения.

Стабилитрон

Стабилитрон назван в честь Кларенса Малвина Зенера, открывшего эффект Зенера.

Это тип диода, который пропускает ток не только в прямом, но и в обратном направлении. Когда обратное напряжение достигает напряжения пробоя, известного как напряжение Зенера, оно позволяет протекать току.

Стабилитрон имеет более высокую концентрацию легирования, чем обычный диод с p-n-переходом. Следовательно, он имеет очень тонкую область истощения.

При прямом смещении он работает как простой диод с p-n-переходом (выпрямитель).

При обратном смещении он почти не пропускает ток, до тех пор, пока обратное приложенное напряжение, станет напряжением пробоя. После этого он позволяет току течь с постоянным падением напряжения в определённых пределах.

Обратный пробой стабилитрона вызван двумя причинами: квантовым туннелированием электронов и лавинным пробоем.

Стабилитрон в основном используется в конфигурации с обратным смещением. Он обеспечивает стабилизированное напряжение для защиты цепей от перенапряжения.

Обращенный диод

Обращенный диод или задний диод – это диод с p-n-переходом, работа которого аналогична работе туннельного диода и стабилитрона. Но рабочие напряжения намного ниже.

Обращенный диод – это, по сути, туннельный диод, у которого одна сторона перехода имеет относительно меньшую концентрацию легирования по сравнению с другой стороной.



Рисунок 8 – Обращенный диод

При прямом смещении он работает как туннельный диод, но его туннельный эффект значительно снижен по сравнению с туннельным диодом. В противном случае он работает как обычный диод с p-n-переходом.

При обратном смещении он работает как стабилитрон, но напряжение пробоя намного ниже.

Он не получил широкого распространения, но его можно использовать для выпрямления сигнала слабого напряжения (от 0,1 до 0,6 В). Благодаря высокой скорости переключения его можно использовать в качестве переключателя в ВЧ-смесителе и умножителе.

Диод подавления переходных напряжений (TVS)

Диод подавления переходных напряжений или TVS-диод – это тип лавинного диода, который защищает цепь от скачков высокого напряжения.

TVS-диод способен выдерживать высокие напряжения по сравнению с лавинным диодом.

Однонаправленный TVS-диод работает аналогично лавинному диоду. Он действует как выпрямитель при прямом смещении и как устройство защиты от перенапряжения при обратном смещении.



Рисунок 9 – Диод подавления переходных напряжений

Двунаправленный TVS-диод действует как два лавинообразных диода, последовательно противостоящих друг другу. Он изготавливается как однокомпонентный. Он работает в обоих направлениях и обеспечивает защиту от перенапряжения при использовании параллельно цепи.

Легированный золотом диод

В диоде такого типа в качестве легирующей примеси (легирующего материала) используется золото или платина. Это позволяет диоду работать с высокой скоростью переключения, но за счет увеличения прямого падения напряжения. Кроме того, его обратный ток утечки выше, чем у обычного диода с р-п-переходом.

Диод постоянного тока

Диод постоянного тока, также известный как токоограничивающий диод (CLD), представляет собой двухконтактный диод, сделанный из полевого транзистора. Он регулирует ток через него до фиксированного уровня.

CLD создается путем короткого контакта между затвором и истоком JFET. Он ограничивает ток так же, как стабилитрон ограничивает напряжение.

Отключающийся диод

Диод ступенчатого восстановления или отключающийся диод – это диод с р-п-переходом, который резко прекращает прохождение тока при изменении его направления.

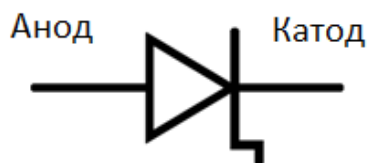


Рисунок 10 – Диод ступенчатого восстановления

SRD (ступенчатый восстанавливающий диод) состоит из p-n-перехода с очень низкой концентрацией легирования около перехода. За счет этого уменьшается количество носителей заряда (электронов и дырок) вблизи перехода. Следовательно, емкость накопления заряда вблизи перехода становится незначительной. Это позволяет SRD очень быстро переключаться с ON на OFF. В нормальном диоде, когда он переключается с прямой проводимости на обратную отсечку, ток кратковременно течет из-за накопленного заряда. Из-за чего нормальный диод требует времени на переключение. SRD не хранит заряд, поэтому может мгновенно прекратить прохождение тока.

Литература

1. Физический энциклопедический словарь. Том 5, М. 1966, "Советская энциклопедия".
2. Баюков, А.В. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Клейнер, Э.Ю. Основы теории электронных ламп / Клейнер Э.Ю. – М., 1974.
4. Электронные и квантовые приборы СВЧ: учебн. пособие / В.Н. Дулин, Н.А. Аваев, В.П. Демин. – М.: Энергоатомиздат, 1972.
5. <https://wikipedia.org/wiki/ru>.

УДК 621.31

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Сташкевич В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Геотермальная энергия – это тепловая энергия внутри земли. Слово геотермальное происходит от греческих слов *geo* (земля) и *therme* (тепло). Геотермальная энергия – это возобновляемый источник энергии, потому что тепло постоянно вырабатывается внутри Земли. Люди используют геотермальное тепло для купания, обогрева зданий и выработки электроэнергии. Лидерами в производстве геотермального электричества являются: США, Филиппины, Мексика, Индонезия, Италия и др. (см. рис.1).

Геотермальные ресурсы – это резервуары с горячей водой, которые существуют при различных температурах и на глубине под поверхностью Земли. В подземные резервуары можно пробурить скважины глубиной несколько тысяч метров для отбора пара и очень горячей воды, которые могут быть выведены на поверхность для использования в различных приложениях, включая производство электроэнергии, прямое использование, а также отопление и охлаждение. В Соединенных Штатах Америки большинство геотермальных резервуаров расположено в западных штатах.



Рисунок 1 – Производство геотермального электричества по странам

Существует три основных типа геотермальных энергетических систем:

- системы прямого использования и централизованного теплоснабжения;

- геотермальные электростанции;
- геотермальные тепловые насосы.

Рассмотрим их по порядку.

Системы прямого использования и централизованного теплоснабжения. В системах прямого использования и централизованного теплоснабжения используется горячая вода из источников или резервуаров, расположенных у поверхности земли. Древние римские, китайские и индейские культуры использовали горячие минеральные источники для купания, приготовления пищи и обогрева. Сегодня многие горячие источники по-прежнему используются для купания, и считается, что горячие, богатые минералами воды полезны для здоровья (см. рис. 2).

Геотермальная энергия также используется для прямого обогрева отдельных зданий и для обогрева нескольких зданий с помощью систем централизованного теплоснабжения. Горячая вода у поверхности земли подается в здания для обогрева. Система централизованного теплоснабжения обеспечивает теплом большинство зданий в Рейкьявике, Исландия.

Промышленные применения геотермальной энергии включают обезвоживание (сушку) пищевых продуктов, добычу золота и пастеризацию молока.



Рисунок 2 – Схема теплоснабжения

Производство геотермальной электроэнергии

Для выработки геотермальной электроэнергии требуется вода или пар при высоких температурах (от 300° до 70°F). Геотермальные электростанции обычно строятся там, где расположены геотермальные резервуары, в пределах одной или двух миль от поверхности земли (см. рис. 3).

Соединенные Штаты являются мировыми лидерами по производству геотермальной электроэнергии. В 2019 году в семи штатах были геотермальные электростанции, которые производили около 16 миллиардов киловатт-часов (кВт·ч), что составляет 0,4% от общей выработки электроэнергии коммунальными предприятиями США.

В 2017 году около 26 стран, включая США, вырабатывали в общей сложности около 80 миллиардов кВт·ч электроэнергии за счет геотермальной энергии. Индонезия была вторым по величине производителем геотермальной электроэнергии после США, производя 12,8 млрд кВт·ч электроэнергии, что составляло около 5% от общего объема производства электроэнергии Индонезией. Кения была девятым по величине производителем геотермальной электроэнергии с производительностью около 4,8 млрд кВт·ч, но на нее приходилась самая большая доля от общего производства электроэнергии за счет геотермальной энергии - около 47%.



Рисунок 3 – Виды геотермальных электростанций

Геотермальные тепловые насосы

Их используют постоянные температуры у поверхности земли для обогрева и охлаждения зданий. Геотермальные тепловые насосы передают тепло от земли (или воды) зданиям зимой и обращают вспять процесс летом (см. рис. 4).

Достоинства геотермальной энергии. Возобновляемые источники энергии: благодаря правильному управлению резервуаром скорость извлечения энергии может быть уравновешена естественной скоростью восполнения тепла резервуара.

Базовая нагрузка: геотермальные электростанции вырабатывают электроэнергию постоянно, работая 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, независимо от погодных условий.

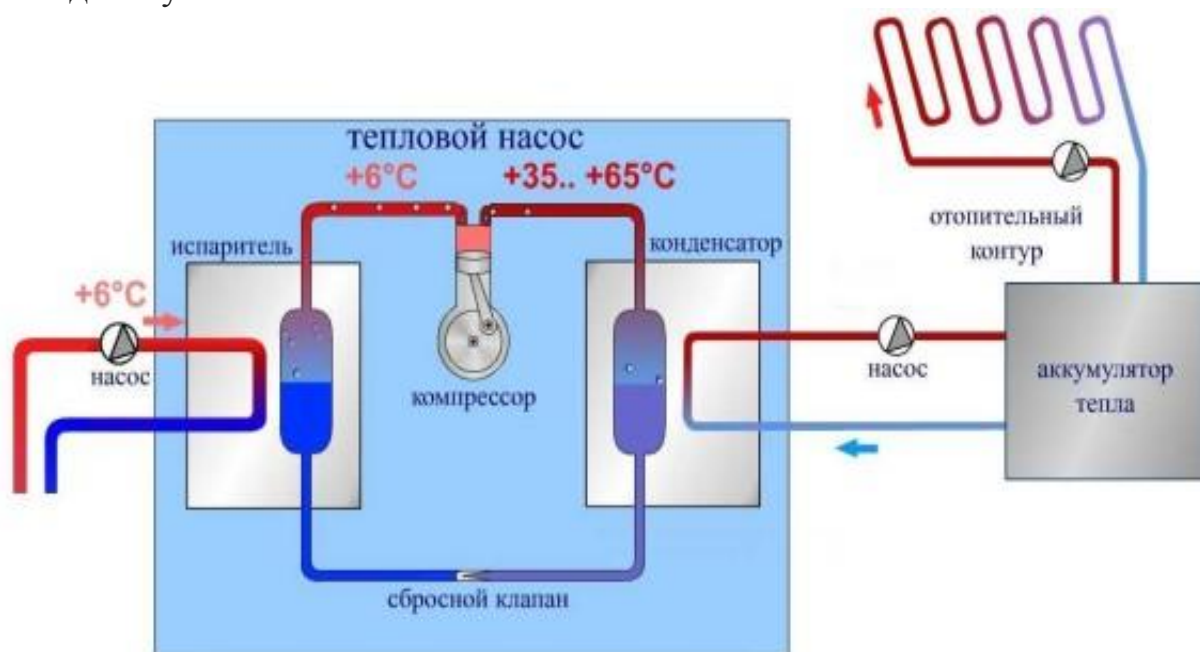


Рисунок 4 – Схема теплового насоса

Внутренние: геотермальные ресурсы США можно использовать для производства электроэнергии без импорта топлива.

Малая занимаемая площадь по сравнению с другими способами получения энергии, например, для сравнения: геотермальные электростанции компактны; используя меньше земли на ГВт·ч (404 м²), чем уголь (3642 м²), ветер (1335 м²) или солнечные фотоэлектрические станции с центральной станцией (3237 м²).

Чистота: современные геотермальные электростанции замкнутого цикла не выделяют парниковых газов; Выбросы парниковых газов в течение жизненного цикла (50 г CO₂ экв / кВт·ч) в четыре раза меньше, чем у солнечных фотоэлектрических систем, и в 6-20 раз меньше, чем у природного газа. Геотермальные электростанции в среднем потребляют меньше воды в течение всего срока службы энергии, чем самые традиционные технологии производства.

Недостатки геотермальной энергии

Геотермальная энергия имеет географическое ограничение. Геотермальная энергия, возможно, является наиболее специфичным для местности источником энергии, известным человеку. Наибольшая тепловая активность наблюдается

вдоль линий тектонических разломов земной коры. Именно в этих местах геотермальная энергия имеет наибольший потенциал.

Недостатком этого является то, что очень немногие страны могут использовать геотермальную энергию. Её основными производителями являются следующие страны: Соединенные Штаты, Исландия, Кения, Индонезия, Филиппины, Мексика.

Геотермальная энергия требует больших инвестиций. Геотермальные электростанции очень дороги и требуют значительных инвестиций. Хотя у них низкие эксплуатационные расходы, их первоначальная стоимость строительства может быть намного выше, чем у угольных, нефтяных и газовых электростанций. Большая часть стоимости связана с разведкой и бурением геотермальных ресурсов. Традиционные электростанции не требуют разведки и бурения. Это может быть вредно для окружающей среды. Одним из основных недостатков геотермальной энергии является воздействие, которое она может оказывать на окружающую среду. Под поверхностью земли находится множество газов, некоторые из которых вредны для атмосферы (сероводород (H_2S), углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3), метан (CH_4) и др.). При производстве геотермальной энергии эти газы иногда уходят в атмосферу. Некоторые из них даже способствуют глобальному потеплению.

Геотермальные электростанции также могут влиять на качество воды. Химические вещества, используемые на некоторых объектах, время от времени протекают и загрязняют грунтовые воды. Несмотря на то, что существует технология безопасного использования этих химикатов, всегда существует вероятность утечки. Даже если принять во внимание вышесказанное, геотермальная энергия по-прежнему лучше для окружающей среды, чем ископаемое топливо. У неё есть проблемы с устойчивостью. Деятельность человека может повлиять на устойчивость геотермальной энергии. Исследования показывают, что без тщательного управления геотермальными резервуарами они могут истощиться. В таких случаях геотермальные электростанции станут бесполезными до тех пор, пока водохранилище не восстановится.

Достижения в области технологий помогают снизить проблемы устойчивости. В настоящее время, после использования геотермальных жидкостей, их можно закачивать обратно к их источнику. В результате этого уменьшается вероятность истощения геотермальной скважины.

Есть свидетельства того, что геотермальные установки вызывали подземные толчки в различных частях мира. Поэтому они могут являться причиной сейсмической активности. Хотя эта сейсмическая активность зачастую незначительна, она может привести к повреждению здания, травмам и смерти.

В 2006 году ученые обвинили в серии землетрясений геотермальный разведочный проект в Базеле, Швейцария. Эти землетрясения были до 3,4 балла по шкале Рихтера. Дальнейшее исследование, проведенное в 2011 году, обнаружило сильную корреляцию между геотермальными исследованиями и сейсмической активностью. Это исследование было сосредоточено на районе геотермального поля Солтон-Си в США.

Литература

1. Дворов, И.М. Геотермальная энергетика / И.М. Дворов. – М.: Наука, 1976. – 192 с.
2. Плешка, М.С. Тепло насосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения зданий / М.С. Плешка [и др.]; под общ. ред. М.С. Плешка – Кишинев: Штиинца, 1990. – 122 с.
3. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х.Найорк, В. Нестлер; Пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш. Фельдмана; Под ред. Б.К. Явнеля. - М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.

УДК 621.396

«БЕЛЫЙ» ШУМ

Родевич В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

«Белый шум» – стационарный шум, спектральные составляющие которого равномерно распределены по всему диапазону задействованных частот. Примерами белого шума являются шум близкого водопада (отдаленный шум водопада – розовый, так как высоко частотные составляющие звука затухают в воздухе сильнее низкочастотных), или шум Шоттки на клеммах большого сопротивления, или шум стабилитрона, через который протекает очень малый ток. Название получил от белого света, содержащего электромагнитные волны частот всего видимого диапазона электромагнитного излучения.

В природе и технике «чисто белый» шум (то есть «белый» шум, имеющий одинаковую спектральную мощность на всех частотах) не встречается (ввиду того, что такой сигнал имел бы бесконечную мощность), однако под категорию «белых» шумов попадают любые шумы, спектральная плотность которых одинакова (или слабо отличается) в рассматриваемом диапазоне частот.

Термин «белый шум» обычно применяется к сигналу, имеющему автокорреляционную функцию, математически описываемую дельта-функцией Дирака по всем измерениям многомерного пространства, в котором этот сигнал рассматривается. Сигналы, обладающие этим свойством, могут рассматриваться как «белый шум». Данное статистическое свойство является основным для сигналов такого типа.

То, что «белый» шум не коррелирован по времени (или по другому аргументу), не определяет его значений во временной (или любой другой рассматриваемой аргументой) области. Наборы, принимаемые сигналом, могут быть произвольными с точностью до главного статистического свойства (однако постоянная составляющая такого сигнала должна быть равна нулю). К примеру, двоичный сигнал, который может принимать только значения, равные нулю или единице, будет являться «белым» шумом, только если последовательность нулей и единиц будет не коррелирована. Сигналы, имеющие непрерывное распределение (к примеру, нормальное распределение), также могут быть «белым» шумом.

Дискретный «белый» шум – это просто последовательность независимых (то есть статистически не связанных друг с другом) чисел. Иногда ошибочно предполагается, что Гауссовый шум (то есть шум с гауссовым распределением по амплитуде - нормальное распределение) обязательно является «белым» шумом. Однако эти понятия неэквивалентны. Гауссовый шум предполагает распределение значений сигнала в виде нормального распределения, тогда как термин «белый» имеет отношение к корреляции сигнала в два различных момента времени (эта корреляция не зависит от распределения амплитуды шума).

«Белый» шум может иметь любое распределение – как Гаусса, так и распределение Пуассона, Коши и т.д. Гауссовый «белый» шум в качестве модели

хорошо подходит для математического описания многих природных процессов. Пример формы сигнала Гауссовского шума, рисунок 1.

Математической моделью «белого» шума служит непрерывный во времени случайный процесс $\xi(t)$, такой, когда его математическое ожидание и автокорреляционная функция удовлетворяет следующим условиям соответственно:

$$\Gamma(t, \tau) = \langle \xi(t+\tau)\xi(t) \rangle = \sigma^2(t)\delta(\tau), \quad (1)$$

где $\delta(\tau)$ - дельта-функция Дирака,
 $\langle \xi(t+\tau)\xi(t) \rangle$ - статистическое усреднение;
 $\sigma^2(t)$ - интенсивность «белого» шума.

В случае стационарного процесса $\sigma^2(t) = \text{const}$, причем корреляционной функции (1) отвечают равномерный спектр.

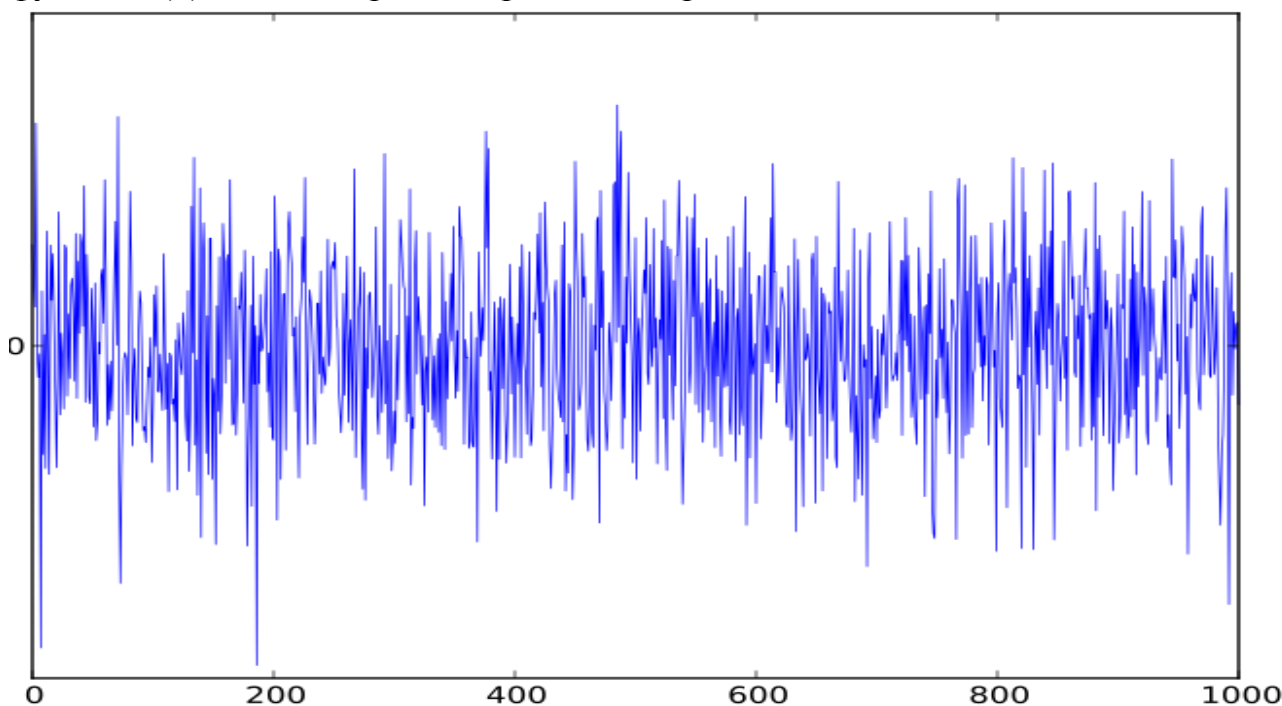


Рисунок 1 – Форма сигнала Гауссовского шума

«Белый» шум применяется в колоссальнейшем числе электротехнических приборов, передающих устройств, современной физике и радиоэлектронике. При этом он может быть использован как в качестве вспомогательного сигнала для скрытия нежелательных помех или шумов в музыкальной аранжировке, входного сигнала для всевозможных фильтров, так и в качестве защитного устройства для обеспечения охраны личных данных и какой-либо аудио информации. Генератор «белого» шума прекрасно подходит для защиты определенного участка площади от возможного внедрения прослушивающих устройств, диктофонов и микрофонов.

Литература

1. Хоровиц, П.А. Хилл, У.С. Искусство схемотехники: Мир, 1993 г.

2. Преснухин, Л.Н., Воробьев, Н.В. Шишкевич, А.А. Расчет элементов цифровых устройств: Высшая школа, 1991 г.
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC> - электронный ресурс.
4. <http://www.podavitel.ru/generator-belogo-shuma-kak-sredstvo-zashity-informacii.html> - электронный ресурс.

УДК 620.92

«ПЛЮСЫ» И «МИНУСЫ» АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Труханович Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Альтернативные источники энергии – это источники энергии, работающие на неисчерпаемых природных ресурсах.

Альтернативные источники энергии включают в себя: ветреные; солнечные; геотермальные; гидроэнергетические; биомассовые.

Такие источники имеют ряд преимуществ перед традиционными способами производства энергии:

- экологичность – при использовании оборудования отсутствуют выбросы вредных веществ, загрязняющих окружающую среду;
- бесшумная работа (не применяется к ветряным мельницам);
- доступность – нет необходимости владеть нефтяными или газовыми месторождениями. Однако это относится не ко всем типам. Страны, без выхода к морю, не смогут получать энергию волн, а геотермальная энергия может быть использована только в вулканических районах;
- дешевая энергия.



Рисунок 1 – Сравнительный график альтернативных источников энергии

По данным графикам (рис. 1 и рис. 2) видно, что за период с 2001 – 2020 год произошло сокращение некоторых нетрадиционных источников энергии и

увеличение потребления, развития альтернативных источников энергии.

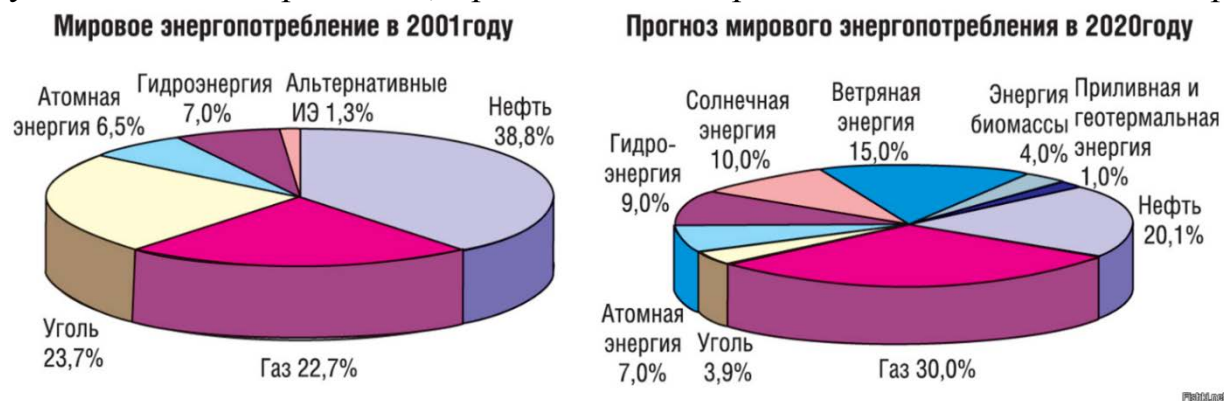


Рисунок 2 – Сравнительный график альтернативных источников энергии

Казалось бы, в чём проблема, чтобы полностью перейти на альтернативные источники энергии (рис. 3). Ведь при строительстве любого жилого дома можно спроектировать его вместе с оборудованием для извлечения той самой энергии, которая будет питать его, а излишки энергии можно продавать государству. Тем самым получать бесплатную энергию самому и быть материально обеспеченным за счёт продажи излишек энергии. Снабжая свои дома альтернативными источниками энергии, этим мы можем помочь государству полностью перейти от нетрадиционных источников к возобновляемым источникам.

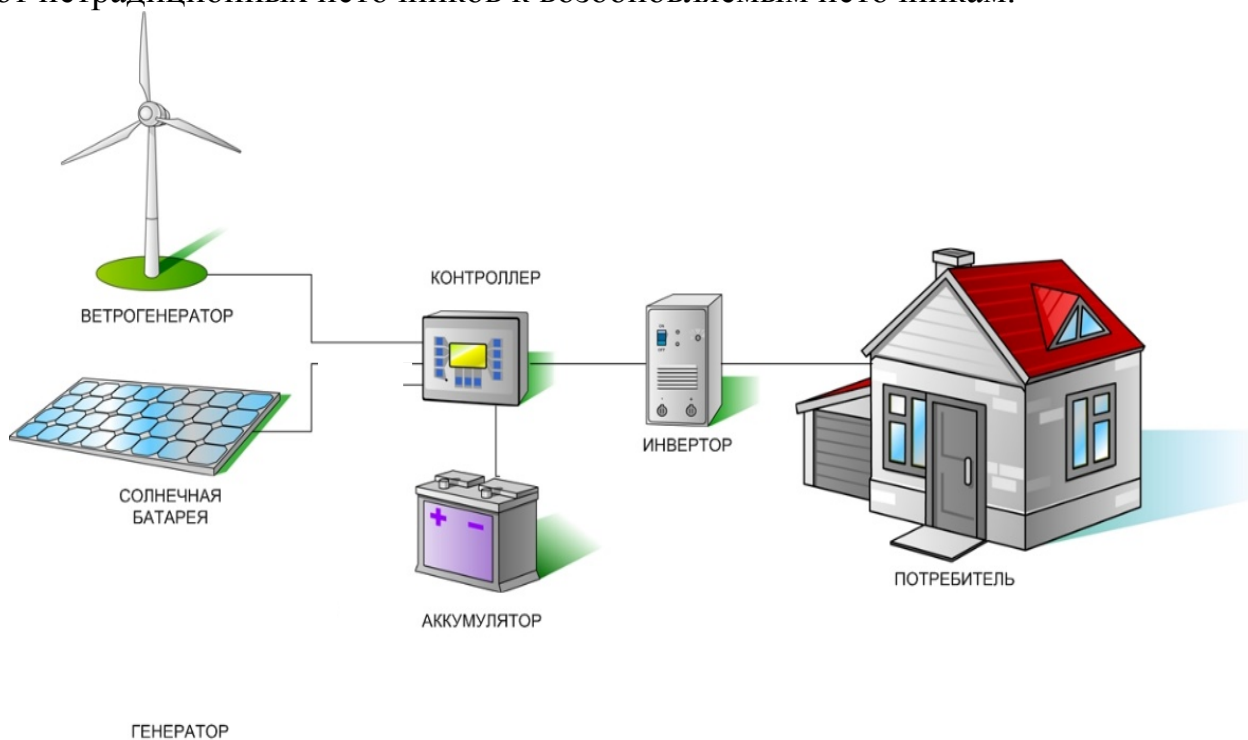


Рисунок 3 – Обеспечения жилья альтернативной энергией

Но у этих источников есть свои недостатки.

Одним из главных недостатков является зависимость от погоды, потому что ветряные мельницы нуждаются в ветре для работы, а солнечные батареи нуждаются в солнце.

Поэтому главным требованием к этим источникам энергии является постоянство. Это качество является слабым звеном в работе альтернативных

технологий. Оснащая крышу солнечными батареями, требующими для подачи электричества в дом, хозяин, по сути, оказывается во власти природы. Пока погода солнечная, в доме будет электричество. Если на неделе будет пасмурно, хозяева рискуют остаться без освещения.

Кроме того, трудно управлять солнечными батареями в ночное время. Поэтому предпочтительнее использовать солнечные батареи в странах с теплым климатом, где солнце ярко светит в течение двенадцати месяцев в году, и ветряные мельницы, где средняя годовая скорость ветра составляет не менее 4-4.5 м/с.

Можно многое сказать и о геотермальной энергии, и ее неблагоприятном воздействии на окружающую среду.

Например:

- отчуждение земли. Например, в Долине гейзеров (США) для установки мощностью 1000 МВт требуется 150 скважин, которые покрывают определенную площадь;
- проседание грунта, изменение уровня грунтовых вод;
- движения земной коры, повышенная сейсмическая активность
- газовые выбросы (метан, водород, азот, аммиак, сероводород);
- тепловое загрязнение атмосферы и поверхностных вод;
- сброс сточных вод и конденсата, загрязненных в небольших количествах аммиаком, ртутью, кремнеземом, рубидием, цезием, калием, фтором и др., для охлаждения в резервуарах;
- переувлажнение или засоление почв, вызванное поступлением большого количества рассолов на грунт.

К недостаткам можно отнести низкую эффективность.

Например, для снабжения жилья электроэнергией в объеме 200-300 Вт требуется батарея площадью не менее 20 м².

Из-за низкой эффективности солнечные и ветровые источники остаются вторичными средствами энергоснабжения.

Помимо всего вышеперечисленного, существуют проблемы со строительством частной электростанции. Чтобы начать работу, вам нужно получить разрешение от местных властей и соседей.

Причинами всех этих проблем с разрешением местных властей и соседей построить частную электростанцию являются шум и запахи.

Шум является одной из основных проблем ветряных мельниц.

Энергия, присущая биомассе, основанная на разложении навоза, мертвых растений и других видов биомассы, сопровождается резким запахом. При гниении биомассы выделяется биогаз с высоким содержанием метана, который используется для отопления и выработки электроэнергии. На таких электростанциях всегда есть запах, поэтому эта энергия используется исключительно для обслуживания коровников и ферм, превращая рабочий процесс в безотходное производство.

Хотя использование альтернативных ресурсов позволяет сэкономить на производстве энергии, но само изготовление оборудования для этого достаточно дорогое. Основным компонентом солнечных элементов является солнечный

элемент, изготовленный на основе кремния. Сам по себе кремний не особенно ценен, но его очищение и преобразование обходится дорого.

Обслуживание данных источников энергии также обходится дорого – осмотр, ремонт и корректировка положения в зависимости от времени года.

После расчета всех сметных затрат использование этих источников энергии в частной собственности зачастую оказывается нерентабельным и представляет экономическую выгоду только для крупных предприятий.

Но это не значит, что домовладельцы должны отказаться от идеи использования данных источников энергии. Поскольку прогресс не стоит на месте – уже изобретены полимерные солнечные панели, производство которых значительно дешевле обычных кремниевых.

А появление на рынке новых моделей генераторов и дополнительного оборудования, изменение цен на электроэнергию дает основание думать, что в ближайшем будущем каждый дом будет иметь свой собственный источник производства энергии и это заставит людей постепенно отказаться от необходимости использования тепловых и атомных электростанций.

Литература

1. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб.: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
2. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 3-е доп. – СПб.: Издание Политехнического Университета, 2016. – 424 с.

УДК 004.31

**ДЕГРАДАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ
В ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ**

Федорович Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Центральное обрабатывающее устройство центральный процессор, или же центральный процессор (ЦП) представляет собой интегральную схему или же электронный блок, выполняющий различные машинные команды. Он является одной из основных частей аппаратного обеспечения компьютера, производительность которого в значительной степени влияет на производительность компьютера в целом. ЦП устанавливается в определенный сокет (разъём) на интерфейсы.

Основными параметрами, характеризующими производительность процессора, являются:

- тактовая частота;
- архитектура;
- количество ядер;
- многопоточность;
- объём кэша.

Важны также тип и частота оперативной памяти, поддерживаемой процессором, а также количество каналов памяти.

Рассмотрим более подробно каждый параметр.

Тактовая частота определяет количество циклов, выполняемых процессором за секунду и измеряется в гигагерцах (ГГц). Процессор с тактовой частотой 3 ГГц выполняет 3 млрд. циклов в секунду. С технической точки зрения цикл представляет собой импульс, синхронизируемый внутренним осциллятором, но для наших целей это базовая единица, помогающая понять концепцию тактовой частоты процессора. В течение каждого цикла в процессоре открываются и закрываются миллиарды транзисторов.

Поскольку различные архитектуры процессоров обрабатывают команды по-разному, лучше всего сравнивать тактовую частоту процессоров одной марки и одного поколения. Однако в пределах одного поколения процессор с более высокой тактовой частотой обычно превосходит по производительности процессор с более низкой тактовой частотой

Архитектура это внутренняя конструкция процессора, организация процессов внутри устройства. Процессоры с единой архитектурой (одного семейства) обладают одинаковыми свойствами и качествами. Архитектура процессора имеет важное значение, так как новый процессор может легко обойти по производительности процессор пятилетней давности с более высокой тактовой частотой, поскольку новая архитектура обрабатывает команды более эффективно.

Количество ядер процессоров для персональных компьютеров варьируется от 2 до 32. Одноядерные процессоры уже являются архаизмом. Ядро – это основная составляющая процессора, именно в нем производятся все операции и

вычисления, если их несколько, то они взаимодействуют друг с другом посредством шины данных. Чем больше количество ядер, тем выше скорость обработки данных.

Многопоточность - это способность ядра процессора одновременно выполнять несколько процессов (потоков), что существенным образом ускоряет работу системы. Тут всё аналогично количеству ядер: чем она выше, тем лучше.

Кэш процессора – это встроенная в кристалл сверхбыстрая память. Когда процессору нужно обратиться в память для чтения или записи данных, он сначала проверяет, доступна ли их копия в кэше. В случае успеха проверки процессор производит операцию, используя кэш, что значительно быстрее использования более медленной основной памяти.

Несколько слов о самой деградации центрального процессора.

Интегральная схема центрального процессора состоит из множества элементов: транзисторов, резисторов, конденсаторов, ячеек, диэлектрических изолирующих слоёв, металлических межсоединений и прочего. Всё это подвержено деградации от разных стрессовых факторов, в числе которых: ток, напряжение, температура, влажность окружающей среды, время. При повышении температуры чипа более 85°C в многоуровневой металлизации, состоящей из слоёв металла, контактных переходов и межуровневых диэлектриков происходит термическое расширение слоёв. Так как термические коэффициенты диэлектриков и металлов значительно различаются, то имеет место значительный разброс механического давления слоёв друг на друга. Это может приводить к разрывам и образованию металлических пустот в металлических шинах или же контактных переходов (рис.1), из-за этого также может происходить разрушение диэлектрика между металлическими шинами.

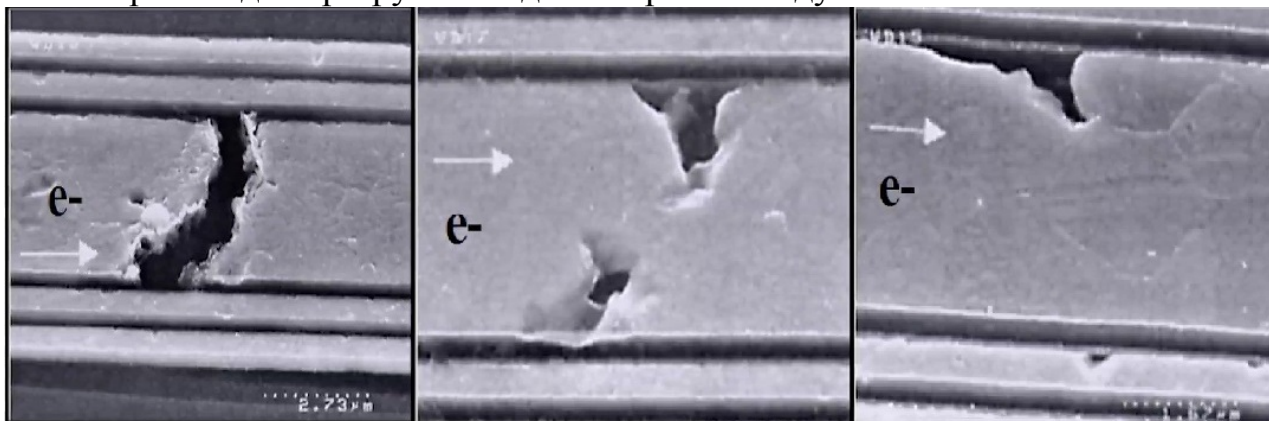


Рисунок 1 – Изображения состояния металлической шины после испытаний в стрессовых условиях, полученные с помощью электронного микроскопа

Ещё одно последствие высоких температур – это деградация поканальных транзисторов, которое происходит вследствие нахождения пустот в области канала транзистора, при повышенных температурах и отрицательном напряжении на затворе транзистора. Это приводит к образованию ‘ловушек’, а затем захвату ими пустот в подзатворном окисле. Деградация происходит без протекания тока через канал транзистора.

Со временем под воздействием токов можно наблюдать такой процесс, как электромиграция (рис. 2, рис. 3). Данный процесс представляет собой физическое перемещение атомов металла под воздействием протекающего через металл тока электронного ветра. Вследствие электромиграции возможно появление утолщений, скоплений атомов металла в одном месте. Из-за высокой плотности металлической разводки (соседние металлические шины расположены на минимально допустимом по технологии расстоянии) утолщение одной из шин может привести к возникновению короткого замыкания с соседней шиной. Это может привести, как к повышению токов утечки, так и к полному отказу какого-то блока схемы или даже всей схемы.

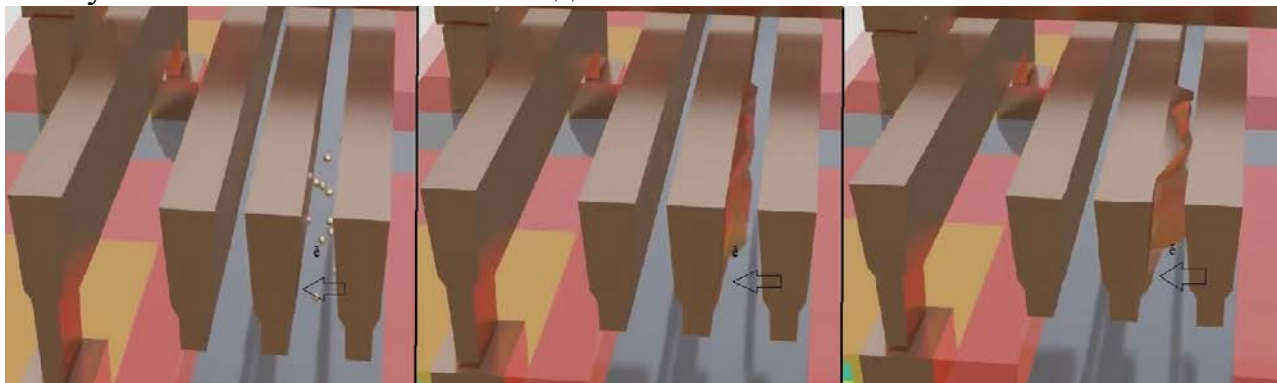


Рисунок 2 – Структурная схема электромиграции

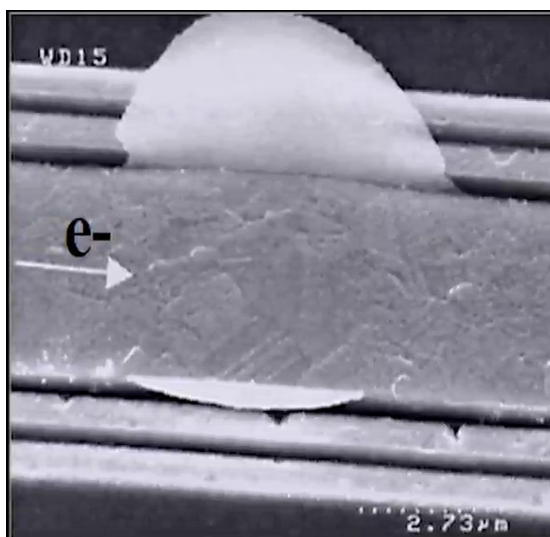


Рисунок 3 – Изображение утолщения в ходе процесса электромиграции, полученное с помощью электронного микроскопа

Кроме этого, в процессе воздействия на структуру электрического поля через диэлектрик протекает так называемый туннельный ток Фаулера-Нордгейма. Из-за наличия в диэлектрике несовершенств (разрывы, ловушки и др.) и воздействия туннельного тока происходит локальная деградация изолирующих свойств диэлектрика и образование дефектов. В дальнейшем увеличение количества дефектов может способствовать пробоем диэлектрика.

Деградация параметров транзисторов под воздействием горячих носителей является результатом физического разрушения поверхности раздела кремния, диоксида кремния, а также подзатворного окисла над областью канала,

локализованной над областью стока МОП-транзистора. Разрушение вызвано инъекцией высокоэнергетических горячих носителей (электронов, дырок) из каналов в подзатворный окисел. Данный феномен приводит к ухудшению основных параметров МОП-транзисторов: тока насыщения, порогового напряжения и максимального значения проводимости канала. В первую очередь, на данный процесс влияют соотношения напряжения на стоке и затворе полевого транзистора. Как правило, одним из показателей генерации горячих носителей является максимальный ток в «карман» полевого транзистора.

Таким образом, получается, что повышенная температура, высокие напряжения и токи ускоряют все перечисленные процессы, что ведет к общему ухудшению всех свойств чипа.

Перечислим несколько факторов, которые приводят к появлению стрессовых факторов:

Первоначально о возникновении повышенных температур.

Каждый процессор имеет расчётную тепловую мощность, она же TDP (Thermal Design Power), измеряется в Ваттах. Данная величина отражает максимальное количество тепла, которое может выделять процессор при номинальном режиме работы. Если система охлаждения процессора и система охлаждения компьютера в целом подобрана неправильно, то это повлечёт за собой повышенный нагрев и последствия, описанные выше. Аналогичная ситуация проявляется при отсутствии обслуживания, такого, как: очистка системного блока от пыли и замена термопасты, которая отлично проводит тепло и компенсирует несовершенство соприкасаемых поверхностей крышки процессора и охлаждающей поверхности кулера.

Далее о работе ЦП в режиме максимальной производительности.

Стоит отметить, что в процессе производства процессоры, создаваемые в одних и тех же технологических рамках, производятся на одной технологической линии. Затем некоторые образцы серии выборочно тестируются. Тестирование проходит в экстремальных (по напряжению и температуре) условиях. На основании этих тестов на процессор наносится маркировка о номинальной частоте, на которую рассчитан процессор. Учитывая то, что частота берется с некоторым запасом прочности, и что далеко не все кристаллы были протестированы, можно с большой долей вероятности предсказать, что большинство изделий имеют запас мощности по частоте около 10-15%.

Зачастую пользователь бывает, недоволен номинальной производительностью процессора и в данном случае иногда применяется оверклокинг (разгон), повышение тактовой частоты через BIOS (Базовую Систему Ввода-Вывода) материнской платы или же через стороннее программное обеспечение. В настоящее время большинство материнских плат и процессоров позволяют это делать. Однако простое повышение тактовой частоты результатов не даст, т.к. процессору не будет хватать ресурсов. Для более высокой тактовой частоты требуется больше мощности и, соответственно, напряжение требуется увеличить. Изменение напряжения обеспечит для процессора необходимую мощность для работы с более высоким

коэффициентом частоты. Чрезмерное повышение напряжения будет вести к повышенному износу и процессам, описанным выше.

Наглядными примерами вышеописанных явлений являются:

1. Весьма показательным является пример пользователя портала: iguides.ru, который проверил деградацию кристалла на практике. Приобретя абсолютно новый процессор Intel Core i7-8700K он добился тактовой частоты в 4.8 ГГц при напряжении в 1.28 В, провёл ряд тестов, которые не вызвали ошибок. Однако, через полгода, проведя аналогичные тесты, в ряде из них он получил системный сбой, ему пришлось повысить напряжение до 1.30 В и в тестах система вновь стала работать стабильно. Данную он проводил периодически, доведя напряжение до 1.36 В, он столкнулся с тем, что тепловыделение процессора сильно возросло и во избежание перегрева пришлось снизить тактовую частоту на 100 МГц. Вероятно, что в дальнейшем ему придётся снижать тактовую частоту для работы системы без сбоев и ошибок. На рис.4 представлена зависимость частоты от напряжения с течением времени.

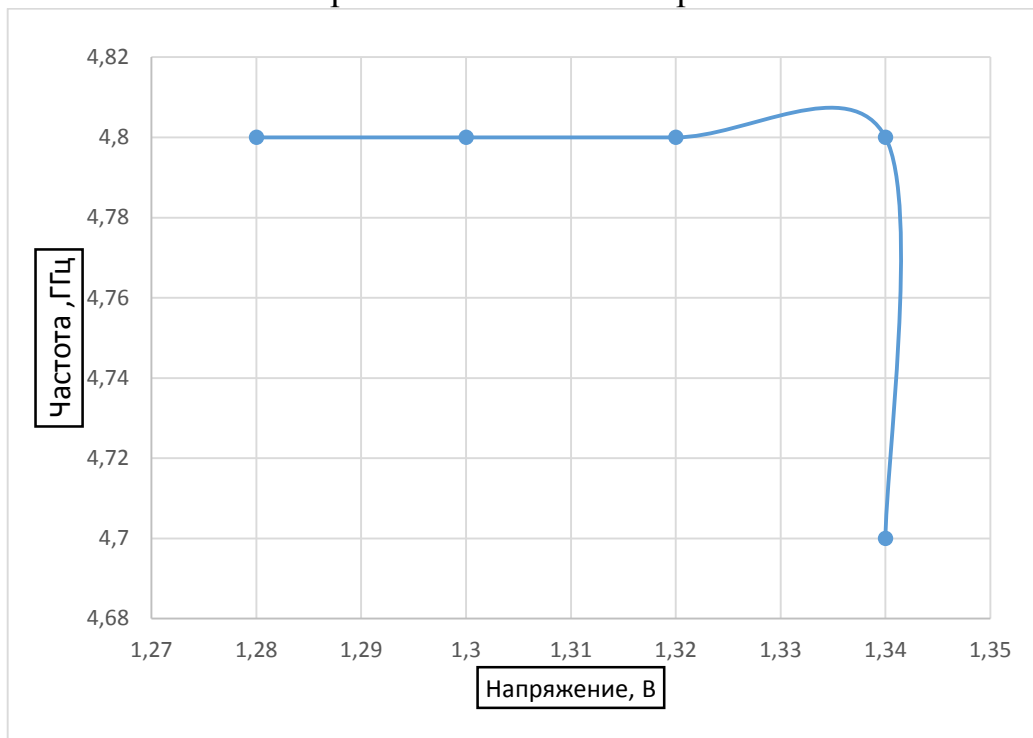


Рисунок 4 – Зависимость тактовой частоты от напряжения с течением времени

2. Ещё одним примером является процессор AMD Ryzen 9 3900X одного из авторов канала “PRO Hi-Tech” на [youtube.com](https://www.youtube.com). В данном случае понижения тактовой частоты не наблюдалось, тем не менее, автор заметил понижение производительности в различных задачах и решил провести тесты в сравнении с идентичным новым процессором. Автор произвёл измерения программами-бенчмарками (программы, служащие эталонным тестом производительности, выдающие количественную характеристику производительности), результаты которых можно увидеть на рис. 5 и рис. 6.

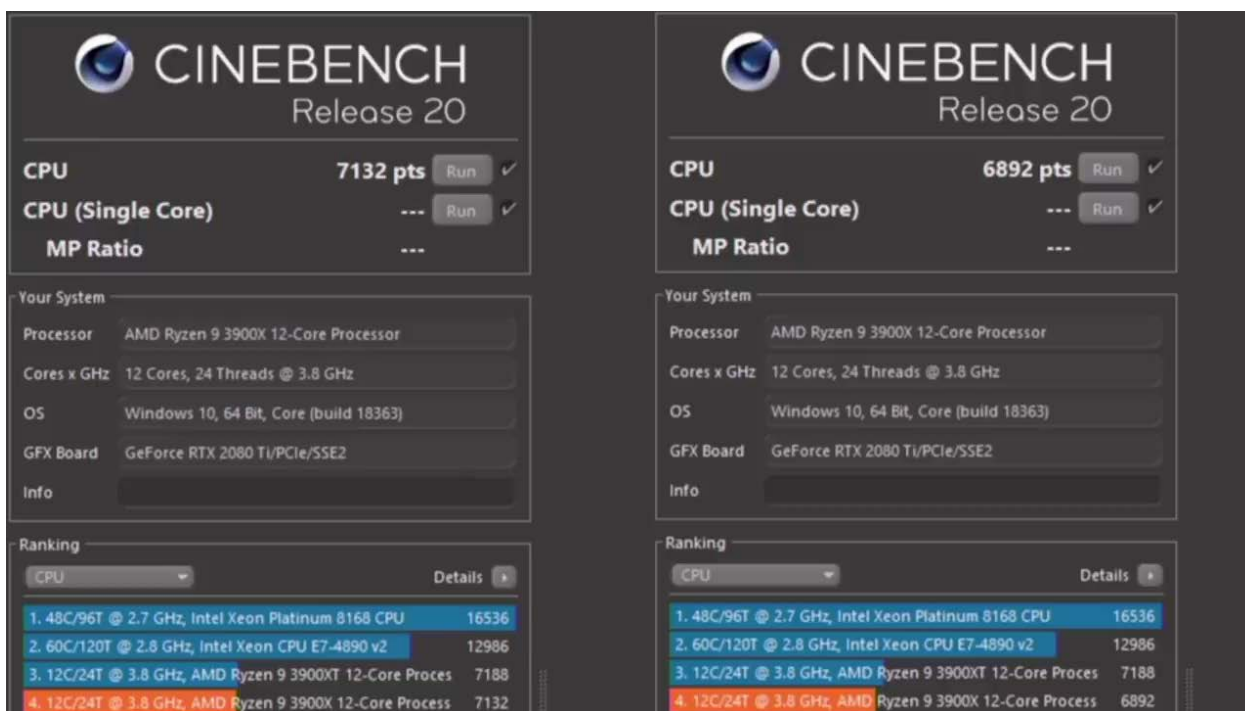


Рисунок 5 – Результаты тестов в программе Cinebench R20

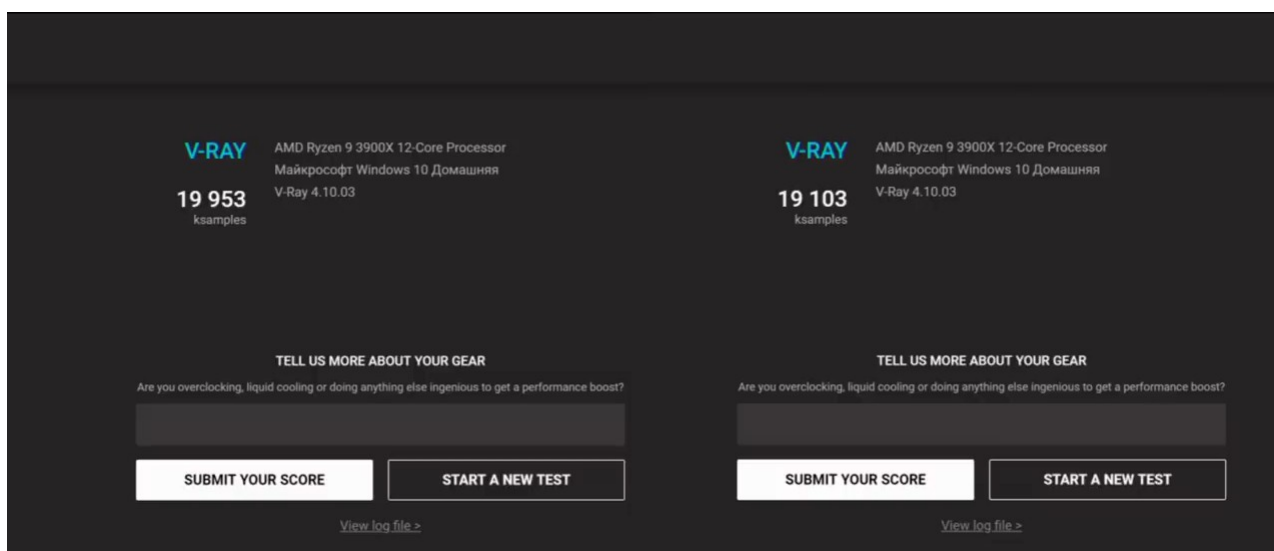


Рисунок 6 – Результаты тестов в программе V-Ray

Из результатов тестов видно, что старый процессор уступает идентичному новому в производительности на 4-5%, это можно было бы посчитать погрешностью, но результаты повторялись спустя множество попыток.

В итоге хотелось бы отметить, что центральный процессор является одним из наиболее надёжных компонентов компьютерных комплектующих, но повышенные нагрузки и стрессовые условия работы могут привести к ухудшению его характеристик и процессам, описанным в данном докладе.

Литература

1. Морозов, Е., Купили современный топовый процессор? Через пару лет он может перестать работать / Е.Морозов // [Электронный ресурс] Режим доступа:

https://www.iguides.ru/main/other/berete_sovremennyu_topovyyu_protssessor_cherez_paru_let_on_mozhet_perestat_rabotat/ – Дата доступа: 10.10.2020

2. Разгон процессора // [Электронный ресурс] / ixbt.com Режим доступа: <https://www.ixbt.com/cpu/cpuoverclock.html> -Дата доступа: 10.10.2020

3. Разгон процессора через BIOS , Корпорация Intel, // [Электронный ресурс]

4. Режим доступа: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/gaming/resources/bios-overclocking.html> – Дата доступа: 10.10.2020

5. Сафонов, С Поговорим про деградацию и БУ товары, которые выдают за новые. / С. Сафонов, И. Корнейчук // [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=ExwP2j3mqCY> –Дата доступа:10.10.2020

6. Что такое тактовая частота?, Корпорация Intel // [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/gaming/resources/cpu-clock-speed.html> – Дата доступа: 10.10.2020

УДК 621.396

БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР

Парахневич Е.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Большой адронный коллайдер, представляет из себя, большое кольцо, находящееся под тысячами тоннами земли в сельской местности очень близко к Женеве. Он позволяет войти в физику самых малых расстояний и достигнуть, при эксперименте, самых высоких, из когда-либо исследованных, энергий. Больше десяти лет ученые по физике элементарных частиц с любопытством ждали шанса исследовать диапазон, где энергии достигают тераэлектронвольт – терадиапазон. При данной энергии, возможно, проявятся новые физические явления, например: частицы Хиггса, а также частицы, которые образуют темную материю, составляющую большую часть вещества в нашей Вселенной.

Основные положения

Большой адронный коллайдер – самая огромная и самая тяжелая в научном плане экспериментальная установка в области физики элементарных частиц. Он будет разгонять протоны до самых огромных скоростей, когда-либо достигавшихся в ускорителях, сталкивать их лоб в лоб 30 млн раз в секунду, создавая при каждом столкновении тысячи частиц, разлетающихся приближенной к скорости света. Ученные думают, что большой адронный коллайдер откроет новую эпоху в физике элементарных частиц, и это станет разгадкой на главные загадки строения материи и энергии во Вселенной.

Интересные факты

Уже в наши дни ученым предстоит решить огромное количество по сложности задач. При расчетной «светимости» пучка в каждом столкновении подобных иглам сгустков протонов будет происходить 20 событий в интервале всего 25 нс. Частицы, разлетающиеся из точки одного столкновения пучков, будут все еще пролетать через внешние слои детектора, когда уже произойдет следующее столкновение. Индивидуальные элементы в каждом из слоев детектора реагируют на определенные частицы. Миллионы каналов данных от детектора создают приблизительно мегабайт информации от каждого события; каждые две секунды это получается петабайт информации.

Система обработки данных должна уменьшить данный поток до управляемой величины, и она имеет несколько уровней. Первый будет получать, и анализировать данные только от подмножества компонентов всего детектора, из которого он может отбирать перспективные. Система запуска более высокого уровня передает примерно 100 событий в секунду на концентратор вычислительных ресурсов глобальной сети большого адронного коллайдера — распределенную вычислительную сеть большого адронного коллайдера (GRID). Сеть объединяет в едино мощности вычислительных центров и делает их доступнее пользователям, которые смогут входить в эту сеть прямо из кабинетов в своих вузов.

Сеть большого адронного коллайдера создана в виде рядов. Ряд 0 находится непосредственно в Европейской организации по ядерным исследованиям и

состоит из 1000 стандартных компьютерных процессоров как в обычных, так и в узких, похожих на картонные коробки для пиццы корпусах элегантного черного цвета, размещенных на полках штабелями. Компьютер системы до сих пор поступают и подключаются к этой системе. Ответственные за поставки необходимого, ищут самые выгодные цены и предложения, избегая новейших и самых мощных моделей, в пользу более экономичных и целесообразных вариантов.

В большом адронном коллайдере трудятся в одной упряжке надежные старые так называемые «рабочие лошади» и новаторские «бегемотики». Ускорители, работающие десятками лет, в том числе протонный синхротрон и протонный суперсинхротрон, создают протоны со скоростью 99,99975% от скорости света. Большой адронный коллайдер повышает энергию протонов в 16 раз и сталкивает их между собой 30 млн раз в секунду в течение 10 часов. Четыре главных детектора создают в секунду более чем 100 терабайт данных бытия, исходя из отдельных факторов, таких как, например, обнаружение мюона очень высокой энергии, вылетающего под большим углом к оси пучка. Этот так называемый учеными, уровень запуска номер один будет поддерживаться сотнями специализированных компьютерных материнских плат со схемной реализацией логики. На данной стадии отбираются 100 тыс. блоков данных в одну секунду для более тщательного анализа на следующей стадии с помощью механизма запуска более высокого уровня.

Система запуска этого следующего уровня, напротив, получает данные от всех миллионов каналов детектора. Ее программное обеспечение будет работать в сети из большого числа компьютеров при среднем времени между блоками данных, отобранных системой запуска первого уровня, равным 10 мкс. Программы будут иметь достаточно времени, чтобы «реконструировать» каждое событие. Другими словами, программа будет проектировать следы частиц к общим исходным точкам и таким образом сформирует согласованный набор данных — энергий, импульсов, траекторий и т.д. — для частиц, возникших в каждом событии.

Туннель большого адронного коллайдера наклонен относительно горизонта на полтора процента, чтобы поместить большую его часть в монолитной скале. Он находится на глубине около 50 м со стороны Женевского озера, противоположная часть залегает на глубине 175 м.

В полнолуние, во время прилива, земля вблизи от Женевы поднимается на 25 см, увеличивая протяженность большого адронного коллайдера на 1 мм и изменяя энергию пучка на 0,02%.

Как большой адронный коллайдер может обогревать дома?

Большой адронный коллайдер будет использовать тепло для обогрева домов в новом районе под названием Zone d'aménagement Concerté (Зона развития в переводе с французского). Его строят около коллайдера в районе Ферне-Вольтер (Франция) и согласно данному проекту, район будет иметь обособленную геотермальную энергетическую систему.

Как заявляют создатели и руководители данного проекта, у коллайдера имеется очень много различных систем и установок, которые охлаждаются при

помощи воды. Это криогенные установки, различная электроника, система и тому подобное. Принцип их работы очень прост: холодная вода впрыскивается в контур охлаждения, а полученная на выходе вода затем собирается и охлаждается, прежде чем снова вводится в контур. Теплая вода, выходящая из контура, может достигать температуры до 30 градусов по Цельсию, что очень полезно в контексте использования энергии.

Поэтому было решено использовать часть нагретой воды и перенаправить ее на параллельный контур, который будет снабжать систему отопления нового района. Конечно, 30 градусов для полноценного отопления недостаточно, но наличие теплой воды значительно снизит расходы на ее подогрев. Благодаря коллайдеру будет отапливаться до 8000 домов.

Новый алгоритм

В рамках большой модернизации предпринимаются колоссальные усилия по увеличению яркости коллайдера – количества протон-протонных взаимодействий за столкновение двух протонных пучков – в пять раз. Это даст примерно в 10 раз больше данных в год, чем в настоящее время получают эксперименты на БАК.

1. Ускоритель большого адронного коллайдера

В кольцевом коллайдере пучки протонов или ядер свинца циркулируют в нём непрерывно, совершая свыше 10 тысяч оборотов в секунду и сталкиваясь на каждом круге со встречным пучком (рис. 1). Почти 7 тысяч сверхпроводящих магнитов управляют пучками протонов по кольцевому туннелю.

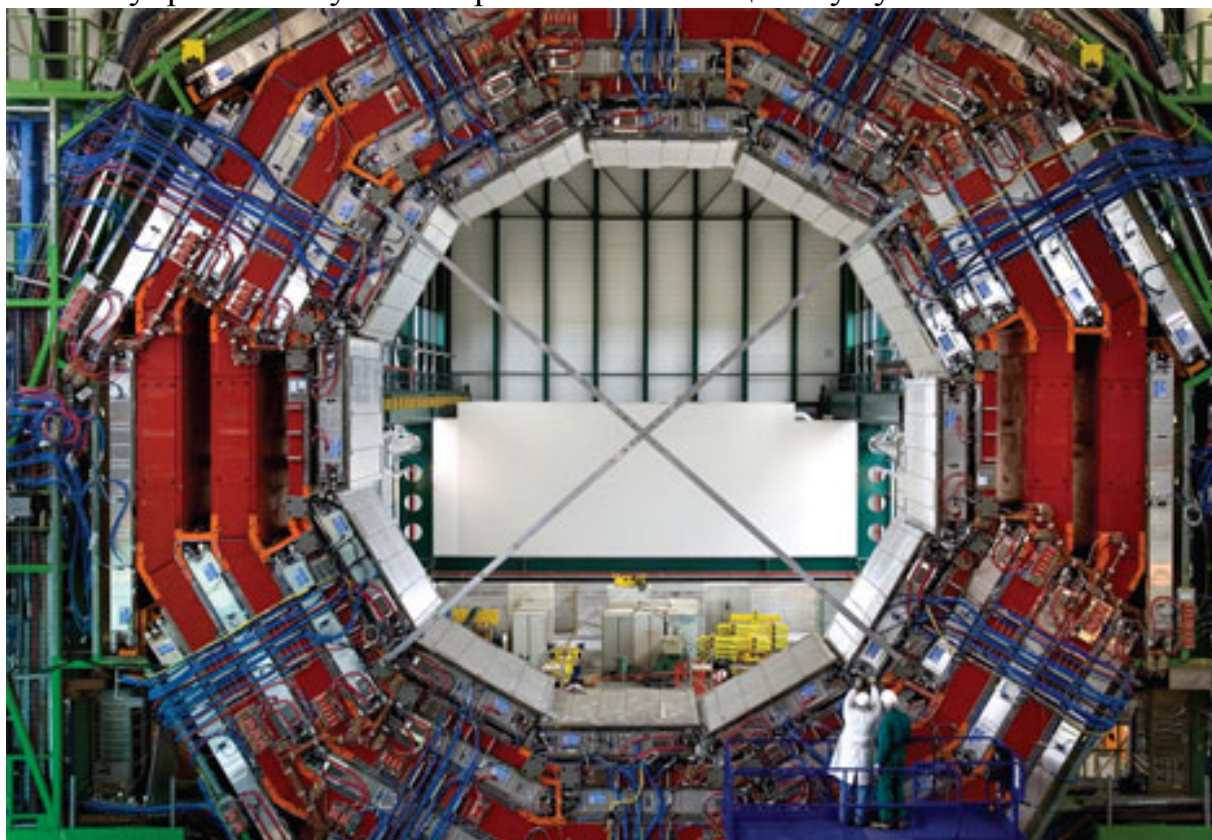


Рисунок 1 – Ускоритель большого адронного коллайдера

2. Компактный мюонный соленоид

Поначалу слово «компактный» здесь может показаться неуместным — ведь длина детектора составляет 20 м, а диаметр – 15 м (рис. 2). На самом деле это слово подчеркивает, что этот детектор заметно компактнее сестринского эксперимента ATLAS (длина 43 м, диаметр 22 м), хотя не уступает ему по исследовательским возможностям. Этому удалось добиться благодаря очень сильному магниту, в экспериментальном зале рядом с деревней Цесси на территории Франции недалеко от границы со Швейцарией.



Рисунок 2 – Компактный мюонный соленоид

3. Крупный детектор

Этот детектор предназначен для поисков «красивых» или «нижних» (в переводе с английского) кварков и антикварков, чтобы понять, чем обусловлено тайное отсутствие антивещества во Вселенной (рис. 3). Детектор расположен только по одну сторону от точки столкновения.



Рисунок 3 – Крупный детектор

4. ATLAS

Тороидальная установка большого адронного коллайдера – детектор общего назначения с уникальной конструкцией, основанной на тороидальных магнитах вместо традиционного соленоида (рис. 4). Он состоит из компактного внутреннего детектора, в котором отслеживаются траектории частиц, за ним следуют калориметры, измеряющие их энергию, а снаружи расположены мюонные детекторы. «Большие диски» детекторов (справа) регистрируют ключевые частицы, называемые мюонами.

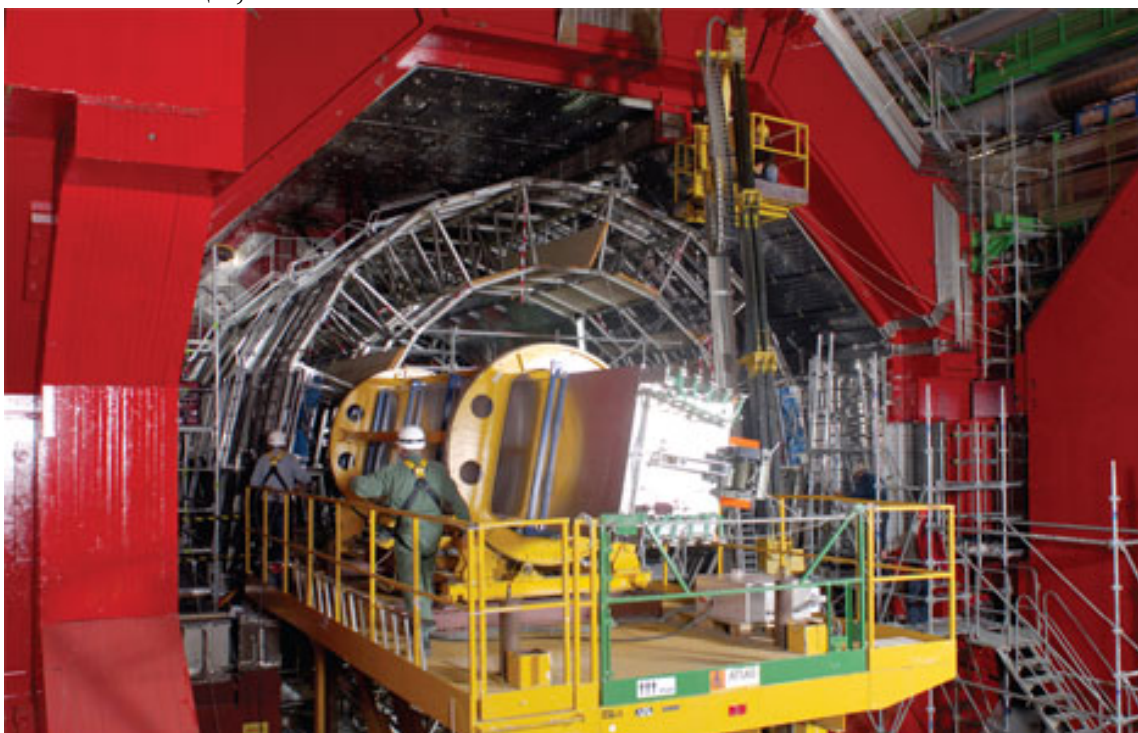


Рисунок 4 – Тороидальная установка большого адронного коллайдера

5. ALICE

Фокусируется в основном на физике сильно взаимодействующей материи при экстремально высокой плотности данной энергии. В Большом эксперименте на коллайдере ионов будут изучаться столкновения ионов свинца, при которых возникают «огненные шары», образованные кварк-глюонной плазмой. Здесь также будут изучать протон-протонные столкновения как опорную точку для других экспериментов (рис. 5).

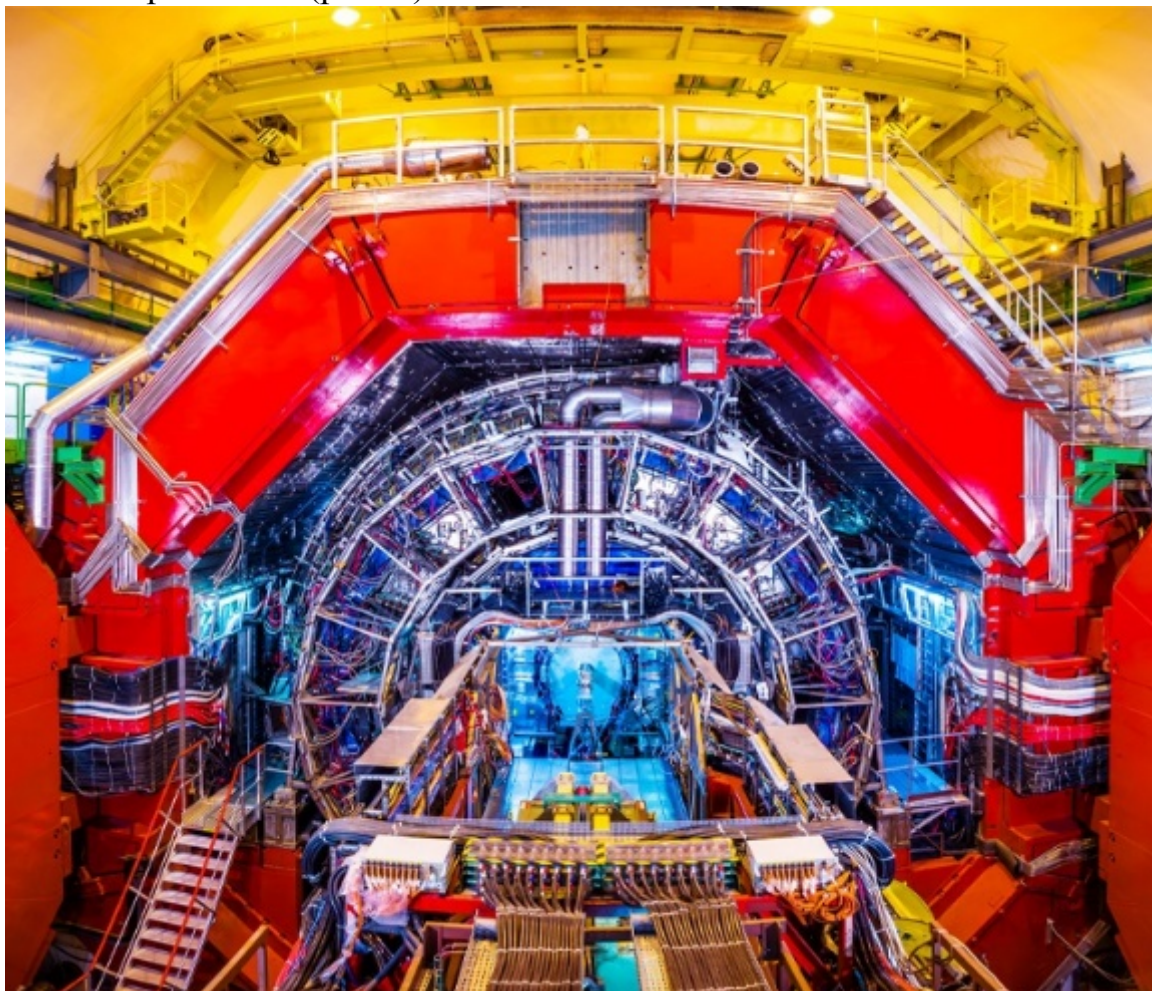


Рисунок 5 – ALICE

Тернистый путь

Несмотря на использование новых технологий, готовых к подключению в режиме реального времени, в ходе сборки большого адронного коллайдера происходили большие ошибки и задержки, происходили аварии с магнитами. При проверке на механическую прочность, при потере катушкой сверхпроводимости во время работы с пучком, часть креплений магнита разрушилась, при этом произошел выброс газообразного гелия.

Такие магниты устанавливаются группами по три единицы, для сжатия пучка в горизонтальном положении, затем в вертикальном положении, и снова в горизонтальном направлениях. Такая последовательность обеспечивает точную фокусировку пучка. В большом адронном коллайдере используются 24 такие группы. Сначала ученые не знали, не придется ли извлечь из туннеля и поднять

на поверхность для переделки все 24 группы, что, возможно, сдвинуло бы график запуска на недели. Причиной неполадки оказалась ошибка при конструировании: проектировщики магнита (исследователи из лаборатории Ферми) не смогли учесть все виды нагрузок. Исследователи из Европейской организации по ядерным исследованиям и лаборатории Ферми лихорадочно работали над решением проблемы, придумывая способ укрепления неповрежденных магнитов прямо в туннеле ускорителя. (Тройку, поврежденную в ходе испытаний, подняли на поверхность для ремонта.)

Новый большой коллайдер

Европейская организация по ядерным исследованиям одобрила план создания сто километрового ускорителя частиц. Его назовут «Будущий кольцевой коллайдер». По мнению ученых, он позволит справиться с задачами, который не мог решить «Большой адронный коллайдер». Новую установку планируется разместить неподалеку от существующей. Ее размеры будут намного больше — длина окружности составит 100 км вместо старых 27 км. Постройку этого тоннеля планируется начать в 2038 году. Строительству будет предшествовать исследование, по результатам которых станет ясно, можно ли проложить тоннель в намеченном месте. Если нет, придется искать другое место. Второй сложный вопрос это финансы. Ориентировочно, на создание FCC потребуется 21 млрд евро. Для европейских исследователей это неподъемная сумма, так что предполагается привлечение средств из других стран. Возможно, что для проекта будет создана международная организация с участием США, Китая и Японии.

Литература

1. Хэлперн, П. Коллайдер / П. Хэлперн. – «Эксмо», – 2010.
2. Линкольн, Д. Большой адронный коллайдер. На квантовом рубеже / Д. Линкольн. – «Попурри», – 2011.

УДК 620.9

ЭНЕРГЕТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЮЩИЕ

Мельников Р.О.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Альтернативные источники энергии

В настоящее время в мире стали всерьез задумываться над тем, как не допустить хищения огромных земных богатств. Лишь при этом условии запасов сжигаемого топлива может хватить на многие века. Что же может произойдет тогда, - а это рано или поздно когда-нибудь произойдет, когда месторождения нефти и газа будут полностью и безвозвратно исчерпаны? Поэтому, в общую классификацию электростанций включаются электростанции, функционирующие на так называемых нетрадиционных или альтернативных источниках энергии. К ним так же относятся: энергия приливов и отливов, энергия малых рек, энергия ветра, энергия Солнца, геотермальная энергия, энергия горючих отходов и выбросов, энергия вторичных источников тепла и другие. Рост числа электростанций на альтернативных источниках энергии будут способствовать следующие принципы: более низкая цена электроэнергии и тепла получаемого от нетрадиционных источников энергии, чем от всех других источников, возможность практически во всех странах иметь локальные электростанции, которые делают их независимыми от общей энергосистемы, доступность и технически реализована плотность, мощность для полезного использования, возобновляемость неординарных источников энергии, экономия или замена традиционных энергоресурсов и энергоносителей, замена эксплуатируемых энергоносителей для перехода к экологически более чистых видов энергии, повышение надежности существующих энергосистем. На рисунке 1 изображены альтернативные источники энергии.

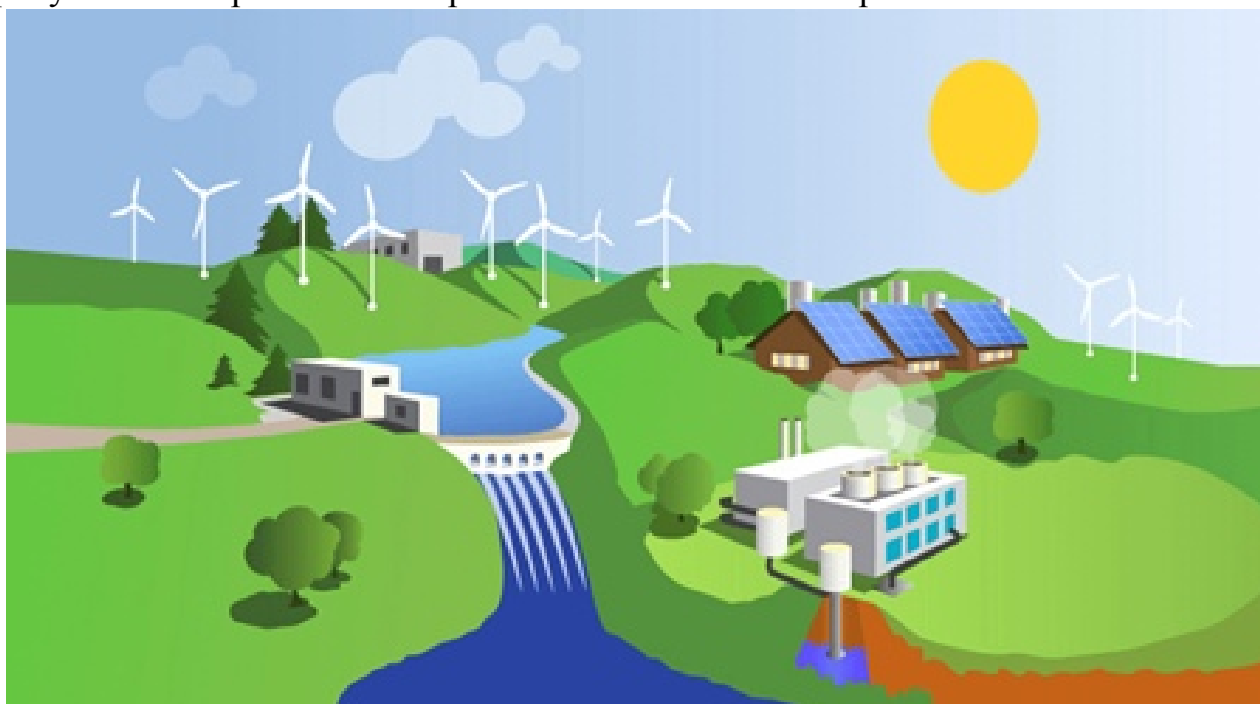


Рисунок 1 – Альтернативные источники энергии

Упрощенной схемой геотермальной установки: из глубоких недр земли по трубе поднимается горячий пар, который раскручивает турбину, в дальнейшем пар устремляется в атмосферу. Также если из трубы будет бить не чистый пар, а пароводяные смеси свыше 150 градусов, то нужно использовать станции комбинированного типа.

Солнечная энергия

Солнце - это неисчерпаемый источник энергии ежесекундно Земля получает от него 80 триллионов киловатт энергии, то есть во много тысяч раз больше, чем все электростанции мира. Однако, поскольку интенсивность солнечного света не всегда и не везде одинакова, даже при установке множества солнечных батарей, потребуется дополнительный источник электричества. Одним из немногих решений этого вопроса является использование солнечных элементов в комплексе с двухсторонним топливным элементом. В светлое время, когда функционируют солнечные элементы излишки электроэнергии можно пропускать через водородный топливный элемент и благодаря этому можно получать водород из воды. Ночью, когда топливный элемент сможет использовать этот водород для производства электроэнергии.

Компактная передвижная электростанция сконструирована немецким инженером Хербертом Бойерманом. При собственном весе в пол тонны, она способна производить мощность 4 кВт, по-другому говоря способна полностью обеспечить электротокм достаточной мощности загородное жилье. Это довольно интересный агрегат, где энергию вырабатывают сразу несколько агрегата ветрогенератор нового типа и комплект солнечных панелей. В первом присутствуют три полусферы, которые (в отличие от обычного ветрового колеса) вращаются при малейшем движении воздуха; второй - это автоматика, аккуратно ориентируется солярными элементами на светило. Добытая энергия накапливается в аккумуляторном блоке, а тот регулярно поставляет ток потребителям. Максимальную производительность солнечные панели обеспечивают при падении солнечных лучей перпендикулярно к поверхности модуля. Так как солнце все время перемещается по небу для продуктивного использования панели возможно применение устройств слежения и поворота панели к солнцу (рис. 2).

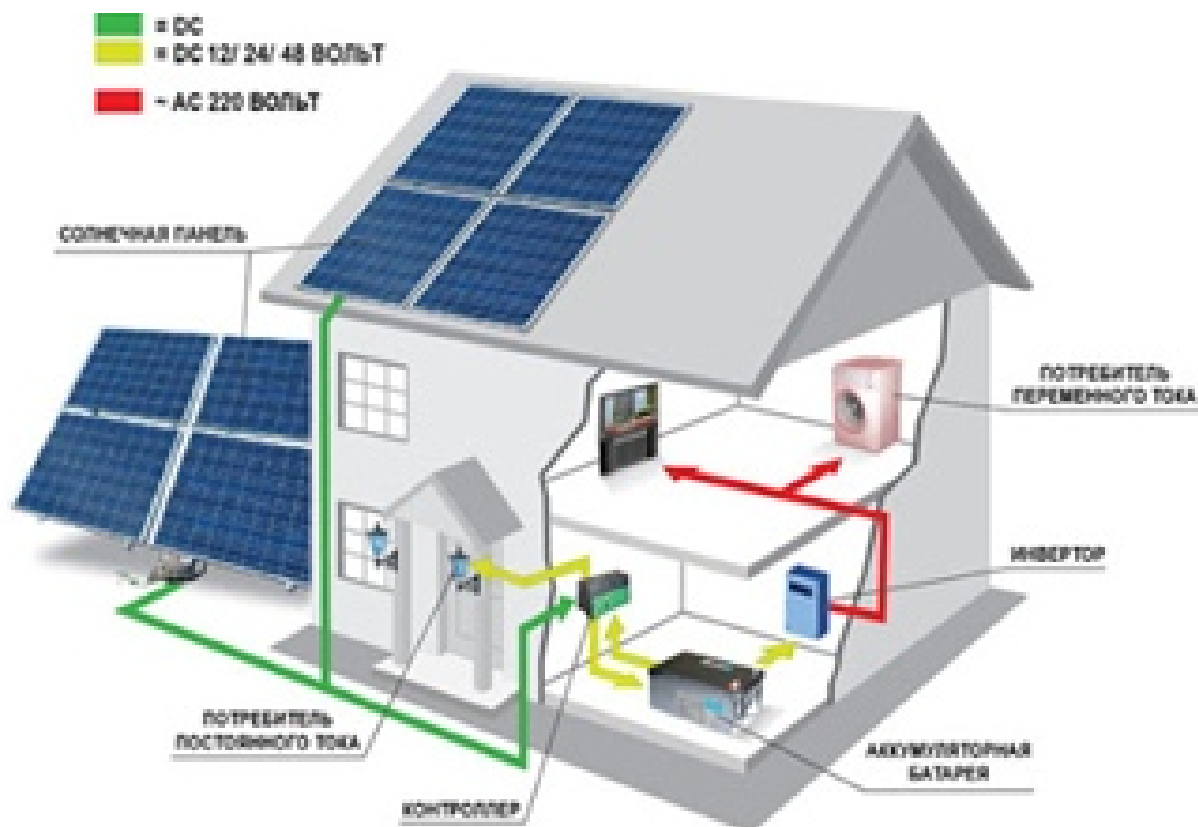


Рисунок 2 – Схема подключений солнечной энергии

Энергетика ветра

На первый взгляд ветер кажется самым доступным и возобновляемым источником энергии. Основные параметры ветра - это скорость и направление, они меняются подчас очень быстро и непредсказуемо.

Таким образом возникают две проблемы, которые надо было решить для полноценного использования энергии ветра.

Во-первых, это возможность "споймать" кинетическую энергию ветра с максимальной площадью. Во-вторых, также еще добиться равномерности и регулярности ветрового потока. Вторая проблема еще решается с большим трудом. Есть интересные разработки по разработке принципиально новых механизмов для превращения энергии ветра в электричество. Но такие установки создают искусственный смерч внутри себя при скорости ветра в 5 м/с. Ветровые двигатели не загрязняют атмосферу, но они очень громоздкие и издают много шума (рис. 3).

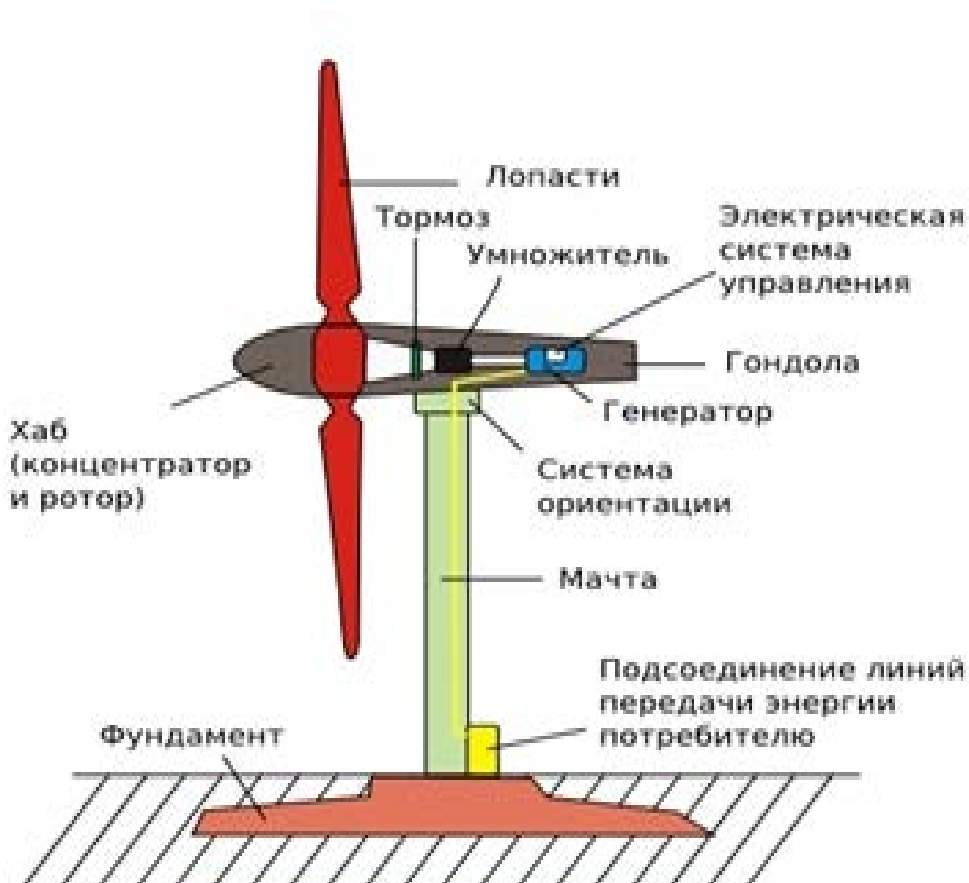


Рисунок 3 – Конструкция ветряка

Чтобы производить с их помощью много электроэнергии, нужны обширные пространства земли. Наилучшее место установки для них там, где дуют сильные ветра. Однако, только одна электростанция, которая работает на добываемом из земли топливе, может заменить по количеству полученной энергии тысячи ветряных турбин. При эксплуатации ветра возникает серьезная проблема: избыточная энергия в ветреную погоду и недостаток ее в периоды, когда ветра нет. Как же накапливать и сохранить энергию ветра? Самый простой способ заключается в том, что ветреное колесо двигает насос, который качает воду в расположенный выше резервуар, а дальше вода, стекая из него, приводит в действие водяную турбину и генератор постоянного или переменного тока. Одним из основных элементов ветряка является ветряная турбина (рис. 4).

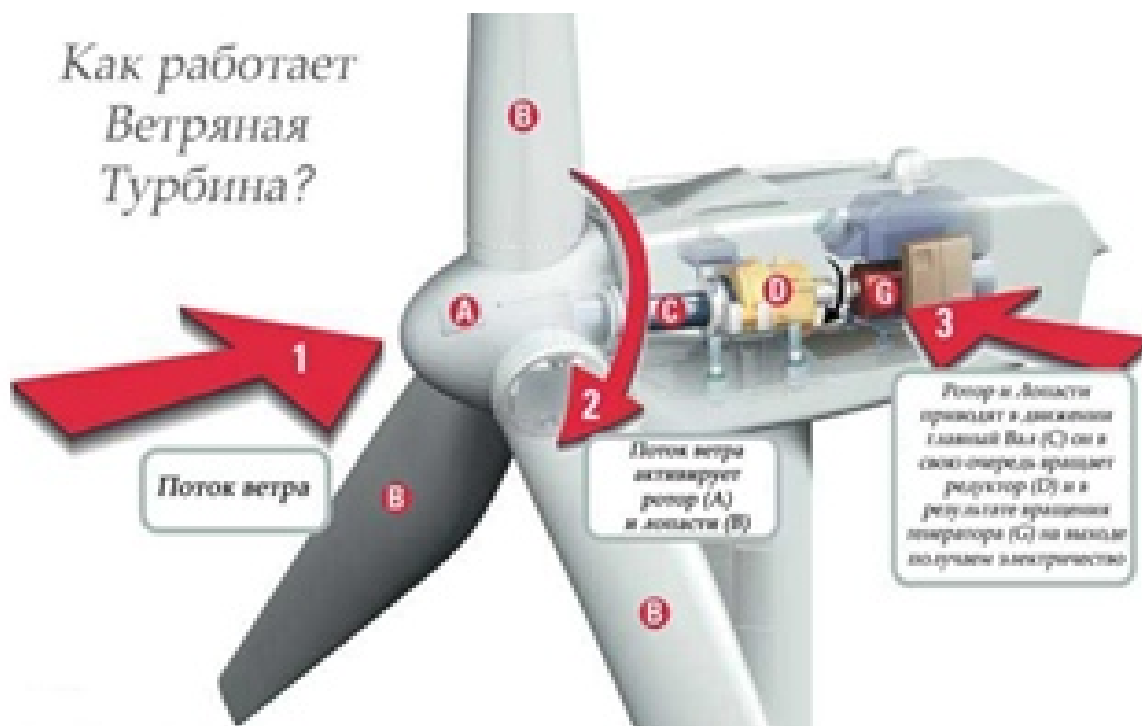


Рисунок 4 – Принцип действия ветряной турбины

Потоки ветра вращают лопасти ветрогенератора проходят через турбину, приводя ее в действие и она начинает вращаться. На валу турбины возникает энергия, которая будет пропорциональна ветрового потока. Чем сильнее ветер, тем больше количество энергии возникает. Далее энергия передается по валу ротора на мультипликатор (если он есть), который ее создает. Нужно учитывать, что более эффективными являются устройства без мультипликатора, который делает быстрее вращение оси, потому что не создается, а, естественно, и не тратится лишняя энергия, а скорости ветра вполне достаточно для оптимальной работы ветрогенератора.

Литература

1. Вольфберг Д.Б., Теплоэнергетика. Современное состояние и перспективы развития энергетики мира 1998. №9.
2. Клименко А.В., Зорина В.М., Теплотехника и теплоэнергетика т.1 Общие вопросы, Издательство МЭИ. Москва 1999г.
3. Непорожний П.С., Попков В.И., Энергетические ресурсы мира, М. Энергоатомиздат, 1995г.

УДК 53.06

**ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ.
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ В МАШИНАХ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Крошенко Д.С.

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

Электрические машины, которыми, соответственно, являются машины постоянного тока и асинхронные двигатели, изолируются при помощи изоляционных материалов. Существует четыре основных вида изоляционных материалов в зависимости от материала, из которого они изготовлены: синтетические, на основе слюды, из стеклянных волокон, на основе целлюлозы. Также, иногда могут применяться материалы на асбестовой основе. Например, асбестовая пряжа, ткань, бумага или картон.

Машины постоянного тока и асинхронные двигатели, которые, в свою очередь являются машинами переменного тока, относятся к электрическим машинам низкого напряжения. Напряжение машин постоянного тока равняется 220В или 440В, а напряжение на асинхронных двигателях составляет 380В или 660В.

В обмотках электрических машин низкого напряжения в качестве изоляционных материалов в основном применяются синтетические материалы. Например, лавсановые пленки или бумаги и картоны на основе полиамида.

К достоинствам пленок можно отнести их значительную устойчивость к электрическим воздействиям и то, что они сравнительно тонкие. Для повышения устойчивости к механическим воздействиям вместе с пленками применяют бумажные или картонные подложки. Следует заметить, что устойчивость полученного композиционного материала к механическим и электрическим воздействиям зависит от параметров и пленки, и подложки.

Пленки используются либо вместе с полиамидными материалами, либо отдельно. Полиамидные материалы обладают очень большими параметрами электроизоляционной и механической устойчивости: они остаются пригодными к работе в температурном режиме до 200°С даже во влажной среде.

Синхронные машины относятся к высоковольтным электрическим машинам (высоковольтными считаются машины с номинальным напряжением более 3кВ), так как имеют номинальное напряжение 6кВ или 13кВ.

В высоковольтных электрических машинах в качестве изоляционных материалов обмотки выступают материалы, изготовленные из слюды. Слюда относится к природным материалам и имеет кристаллическое строение. Электроизоляционные материалы из слюды носят название миканитов. Для их получения необходимо расщепить кристалл слюды на лепестки, толщина которых составляет тысячные доли миллиметра, и склеить полученные лепестки вместе. Наклеивание лепестков слюды на бумажную или стеклотканевую подложку способствует повышению устойчивости полученного миканита к механическим воздействиям.

Из стеклянных волокон производят стеклоленты и стеклоткани. Достоинствами этих изоляционных материалов является их высокая стойкость к тепловым воздействиям и большая устойчивость к разрыванию. Однако имеются и недостатки. К ним относятся повреждаемость при многократном изгибании и постепенное истирание. Изоляционные материалы из стеклянных волокон выполняют вспомогательные функции при изолировании обмоток. Кроме того, подложки для миканитов и композиционных материалов из слюды имеют подложку из материалов, изготовленных из стеклянных волокон. Повысить устойчивость стекловолокнистых материалов к механическим воздействиям можно путем их лаковой пропитки, но следует помнить, что данная манипуляция повлечет за собой снижение устойчивости к тепловым воздействиям, так как сам изоляционный материал более устойчив к температурным колебаниям, чем пропитывающий его лак.

Целлюлоза является основой для различных изоляционных бумаг и картонов, а также хлопчатобумажных лент и полотен. Эти материалы имеют малую стойкость к электрическим воздействиям, но обладают невысокой стоимостью, легко поддаются формовке и изгибанию, и кроме того имеют высокую устойчивость к механическим воздействиям. Изоляционные материалы на основе целлюлозы могут служить либо защитой для менее прочных материалов, либо выполнять функции прокладок. Однако сегодня в электрических машинах наиболее часто используются ленты и ткани из стеклянных волокон.

Высокая удельная мощность машин постоянного тока достигается в результате применения большой частоты вращения, высококачественных электромагнитных материалов и эффективных способов охлаждения.

Деформации в подобной системе при изменении температуры, электродинамических усилиях, вибрациях обмотки приводят к развитию внутренних напряжений в изоляции и, как следствие, образованию дефектов. Помимо механических воздействий, изоляция обмоток испытывает тепловые, климатические и электрические нагрузки. Тепловые воздействия определяют скорость старения и тепловую деформацию изоляции, которые, в свою очередь, приводят к ухудшению ее механических свойств и накоплению усталостных повреждений. При этом механические воздействия ускоряют процесс образования дефектов. Климатические и электрические воздействия способствуют дальнейшему развитию первоначальных дефектов изоляции, образовавшихся при изготовлении машин. Дефекты изоляции между витками являются причиной ее пробоя, приводящего в дальнейшем к выгоранию части обмотки.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: повышение удельной мощности в машинах постоянного тока неизбежно приводит к повышению тепловых воздействий на изоляцию машин, что обуславливает применение в данных машинах изоляционных материалов с наиболее высоким классом тепловой устойчивости. Сегодня такими материалами являются ткани из стеклянных волокон (180°C), тонкие плёночные материалы (120°C), текстолит (150°C) и стеклотекстолит (225°C).

УДК 621.394

СРАВНЕНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ, БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА, АССИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Щадинский А. А.

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

Для подбора тягового двигателя для электромобиля выполним анализ коллекторных двигателей постоянного тока, бесколлекторного двигателя и асинхронного двигателя выделяя их достоинства и недостатки:

Основным преимуществом коллекторного двигателя постоянного тока (КДПТ) является простота реализации плавной регулировки частоты вращения в широком диапазоне. КДПТ имеет высокий пусковой момент и большую способность к перегрузке.

Основные недостатки КДПТ (невысокая надежность, сложность эксплуатации и обслуживания) определены наличием коллекторного узла.

Бесколлекторным двигателем (БД) имеет следующие достоинства: широкий диапазон изменения частоты вращения и лёгкость регулирования; большая способность к перегрузке по моменту; при работе БД в режиме перегрузки наблюдается незначительное повышение температуры; коэффициент полезного действия выше 90%; большой ресурс, срок службы и надёжность определены отсутствием коллектора.

Недостатки БД: высокая стоимость электродвигателя; относительно сложная структура электродвигателя и управление им, сложный ремонт; невозможность использования БД без электронного коммутатора, даже для кратковременного включения, например, чтобы выяснить работоспособность;

Достоинства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) определяются отсутствием контактов в цепи ротора: простота изготовления; относительная невысокая стоимость; невысокие затраты на эксплуатацию; высокая надёжность и долговечность в эксплуатации; ремонт относительно прост; за счёт специальной конструкции ротора (вращается в воздушном зазоре только полый цилиндр из алюминия) можно достичь малой инерционности электродвигателя.

Недостатки АДКЗ обусловлены «жесткой» характеристикой: небольшим пусковым моментом; большим пусковым током (в 5-7 раз, превышающий номинальный ток); в режиме неполных нагрузок, низкий КПД (при нагрузке в 30% от номинальной мощности, КПД с 90% может снижаться до 40-60%).

С учётом того что тяговый двигатель должен развивать мощность более 50кВт, наиболее оптимальными будем рассмотреть: КДПТ последовательного или смешанного возбуждения, БД и АДКЗ.

Эксплуатация электромобиля характеризуется произвольным чередованием режимов разгона, торможения и движения с установившейся скоростью, преодоления подъемов и спусков, кратковременных стоянок и «случайной»

нагрузки на систему тягового электропривода. В таких условиях эксплуатации на системы автоматического регулирования (САР) электромобиля поступают постоянные команды изменения управляющего воздействия. Системы автоматического регулирования электромобиля взаимодействуют с аккумуляторной батареей, преобразователями частоты и напряжения и с электрической машиной.

При выборе тяговых электродвигателей используют различные критерии оптимальности: минимум стоимости, минимум массы, минимум проводниковых материалов, минимум потерь или максимум КПД, минимальные вибро-шумовые характеристики и др.

Выбор параметров тяговых электродвигателей должен рассматриваться в комплексе со всей энергетической системой: аккумуляторная батарея – преобразователь – инвертор частоты – электродвигатель.

АДКЗ при работе от преобразователя частота-напряжение сочетает достоинства наиболее простой тяговой электрической машины переменного тока с хорошими пусковыми и регулировочными свойствами двигателя постоянного тока.

Наиболее высокий КПД имеют БД. КПД электродвигателей постоянного тока и асинхронных двигателей примерно равны. Однако за счёт частотного управления (на основе специализированных быстродействующих микроконтроллеров с набором соответствующих датчиков реализующих векторное управление) асинхронными двигателями, достигают КПД, сравнимый с КПД БД.

Наиболее полное использование энергии аккумуляторной батареи (АБ) является важным критерием при выборе типа электропривода. Электрическое торможение с рекуперацией энергии в АБ наиболее просто и эффективно достигается в БД и КДПТ с независимым возбуждением. В АДКЗ реализация этого режима сложнее, особенно в области низких частот вращения.

Для оптимизации регулирования электродвигателем желательно иметь независимое изменение тока и магнитного потока. В КДПТ с независимым возбуждением и в БД такая возможность имеется в полном объёме. Независимое изменение тока и магнитного потока в АДКЗ возможно в весьма ограниченных пределах. В КДПТ с последовательным возбуждением возможность реализации затруднительна.

БД и АДКЗ по сравнению с электродвигателем (ЭД) постоянного тока имеют существенные преимущества по массогабаритным показателям, имеют существенно меньшую стоимость электрической машины, больший ресурс и надёжность.

Достижение максимального пробега L или максимальной полезной транспортной работы $A = L \cdot m_n$, где m_n - масса перевозимого груза, а также оптимизация закона регулирования электродвигателя с целью возврата возможно большей части запасенной при разгоне электромобиля кинетической энергии в АБ. При электропитании двигателя от АБ, с применением преобразователя частоты и напряжения (инвертор), в выражении минимальная масса/электромагнитная мощность необходимо учитывать массу электронного

блока и потери в этом блоке. Значительная масса электродвигателя обычно не служит препятствием при проектировании тягового электропривода электромобиля, так как масса электродвигателя обычно не превышает 2-5% полной массы электромобиля и гораздо меньше массы аккумуляторной батареи.

Тяговые КДПТ в новых разработках электромобилей имеет смысл применять в исключительных случаях, так как их значительная стоимость и эксплуатационные недостатки не могут быть компенсированы более низкой стоимостью силового электронного управляющего блока. По сравнению КДПТ БД и АДКЗ имеют значительные преимущества по массогабаритным показателям, КПД и затратам на техническое обслуживание.

УДК 06.91(07)

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ
НА ТОЧНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ**

Зайцева А.А., Альмухаметов Д.М.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Суходолов Ю.В.

Большое количество электронных вольтметров, которые предназначены для измерения переменных напряжений, измеряют его величину в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения.

Для измерения тока используется амперметр. При измерении переменного синусоидального тока приборы электромагнитной, электродинамической и других систем дают погрешность, которая пропорциональна действующему значению тока. При измерении несинусоидального переменного тока может появиться дополнительная погрешность, которая вызвана влиянием высших гармоник в кривой тока, влияющей на вращающий момент подвижной части амперметра. Сопротивление измерительной катушки амперметра крайне мало и его последовательное включение в цепь с нагрузкой практически не вызывает увеличение общего сопротивления исследуемой цепи и потери мощности. Так, внутреннее сопротивление амперметров колеблется от $R_A=0,2$ Ом (для электромагнитных и электродинамических систем амперметров) до $R_A=0,01$ Ом (для магнитоэлектрических приборов).

Расширение пределов измерения амперметра

Для расширения пределов измерения амперметров используются шунты и измерительные трансформаторы тока. Шунт представляет собой активное сопротивление (резистор) $R_{ш}$ малой величины, включаемый параллельно клеммам амперметра. Трансформатор тока используют для расширения пределов измерения в силовых цепях переменного тока.

Расширение пределов измерения вольтметра

Для расширения пределов измерений вольтметра используют добавочное активное сопротивление R_d , включаемое последовательно с измерительной катушкой вольтметра. В цепях переменного тока, имеющих напряжение свыше 1000 В для расширения пределов измерения высокого напряжения используют измерительные трансформаторы напряжения. Помимо расширения пределов измерений приборов переменного тока, трансформаторы напряжений разделяют цепи низкого напряжения измерительных приборов от высокого измеряемого напряжения.

Отклонения напряжения почти не влияют на показания счетчиков электроэнергии в широком диапазоне напряжений. Счетчики предназначены для измерения потребляемой электрической энергии, т.е. произведения тока на напряжение. Влияние высших гармоник на сегодняшний день исследовано достаточно хорошо, и механизм их влияния известен. Потребители, которые имеют в своем составе электроприемники, потребляющие несинусоидальный ток, преобразуют часть электроэнергии синусоидального тока в энергию несинусоидального тока и возвращают ее обратно в сеть. Влияние такого «возврата» различно для разных типов счетчиков. Особенностью частотной

характеристики индукционного счетчика является слабое считывание потребляемой энергии на повышенных частотах. Поэтому потребители, имеющие несинусоидальные электроприемниками оплачивают полное поступление энергии, а возврат энергии на повышенных частотах почти не фиксируется счетчиками. Индукционные счетчики обычных потребителей, также слабо учитывают энергию, которая поступает к ним на повышенных частотах. Часть этой энергии может использоваться, например, для нагревательных установок. Электронные и цифровые счетчики в свою очередь не имеют такой падающей частотной характеристики. Соответственно возврат энергии искажённой нагрузкой они тоже учитывают. В результате искажающий синусоидальный сигнал нагрузкой потребитель платит меньше, чем при использовании индукционного счетчика. А обычные потребители, которые имеют электронные и цифровые счетчики, платят за всю энергию, независимо от частоты ее составляющих, то есть как за полезные, так и за гармонические её составляющие. Обычно погрешности оцениваются величиной порядка 0,5%.

Например, у нас есть простейшая электрическая замкнутая цепь, включающая в себя источник тока, генератор, гальванический элемент или аккумулятор, и резистор, обладающий сопротивлением R .

В такой ситуации можно сказать, что любой источник обладает некоторым внутренним сопротивлением, которое в свою очередь препятствует максимальному току в нагрузке. Такое внутреннее сопротивление характеризует источник тока и обозначается буквой r . Для гальванического элемента или аккумулятора внутреннее сопротивление есть сопротивление раствора электролита и электродов, для генератора – сопротивление обмоток статора и т.д.

Как влияет внутреннее сопротивление на искажение тока и напряжения

В большинстве случаев внутреннее сопротивление очень мало и им пренебрегают. Если, подключить к двум пальчиковым батарейкам, соединенным последовательно (что даст нам напряжение около 3-х вольт) сопротивление в 25 Ом, то оно уменьшится на 0.1 вольта – это уменьшение происходит из-за того что часть ЭДС падает на внутреннем сопротивлении источника напряжения.

Внутренним сопротивлением источника напряжения являются: сопротивление его клемм, сопротивление электролита (при условии, что это аккумулятор), сопротивление химических элементов в батарейках и т.д. На внутреннем сопротивлении выделяется часть энергии источника напряжения, при этом выходное напряжение уменьшается.

Общее внутреннее сопротивление увеличивается, если у всех элементов питания со временем увеличивается внутреннее сопротивление по мере их разряда, то и падение напряжения на внутреннем сопротивлении так же увеличивается. При этом напряжение на клеммах батарейки уменьшается.

Как влияет внутреннее сопротивление на показания вольтметра

При проектировании стабилизатора напряжения переменного тока, улучшающего форму стабилизируемого напряжения и его номинального

значения, нужно учитывать влияние внутреннего выходного сопротивления источника питания.

Корректировка отклонений мгновенных значений напряжения на выходе при нагрузке от заданных его значений часто не позволяет получить нужную форму выходного напряжения вследствие ограничения коэффициента стабилизации стабилизатора. Причина этого кроется в увеличении инерционности замкнутого контура управления, вызванного выходным активно-индуктивным сопротивлением генератора напряжения, что в результате приводит к уменьшению величины корректировки регулятора для обеспечения нужного качества выходного напряжения.

Добиться существенного улучшения формы напряжения, возможно за счет исключения сглаживающего *LC*-фильтра из замкнутого контура стабилизации, что в итоге снижает его инертность и позволяет значительно увеличить быстродействие регулятора.

Сглаживающий фильтр высших гармоник и помех, улучшающий форму выходного сигнала на выходе, выполненный в виде *LC*-фильтра, не охваченный стабилизирующей отрицательной обратной связью, увеличивает выходное сопротивление стабилизатора, в результате чего получаемое выходное напряжение может уменьшиться под нагрузкой.

Литература

1. Что такое внутреннее сопротивление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/1894-что-такое-внутреннее-сопротивление.html>. – Дата доступа: 22.10.2020 г.
2. Методическая погрешность и погрешность взаимодействия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cbias.ru/terias/cont/div04/meth/pribor/an_xx/an_05.htm. – Дата доступа: 22.10.2020 г.
3. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://barsic.spbu.ru/www/lab_dhtml/10-3/index.html. – Дата доступа: 22.10.2020 г.

УДК 621.394

СРАВНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ ПО КОНСТРУКЦИИ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Зайцев М.А.

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

В данном докладе объектами сравнения будут являться: стартер-генератор ГСР-СТ-12000ВТ и трехфазный асинхронный электродвигатель 4АМ132М2.

Сравнения удельной мощности двигателей производилось относительно их собственной массы. В результате мы получили следующие значения: 375 Вт/кг у ГСР-СТ-12000ВТ и 133,33 Вт/кг у 4АМ132М2. Исходя их полученных значений видим, что показатель удельной мощности стартер генератора выше, чем у асинхронного двигателя, но при практическом использовании данных двигателей, данный показатель не будет являться определяющим в выборе между двигателями, так как при установке в крупногабаритную технику разница показателей станет не слишком значительной.

Далее было проведено сравнение конструкций стартер генератора и асинхронного двигателя.

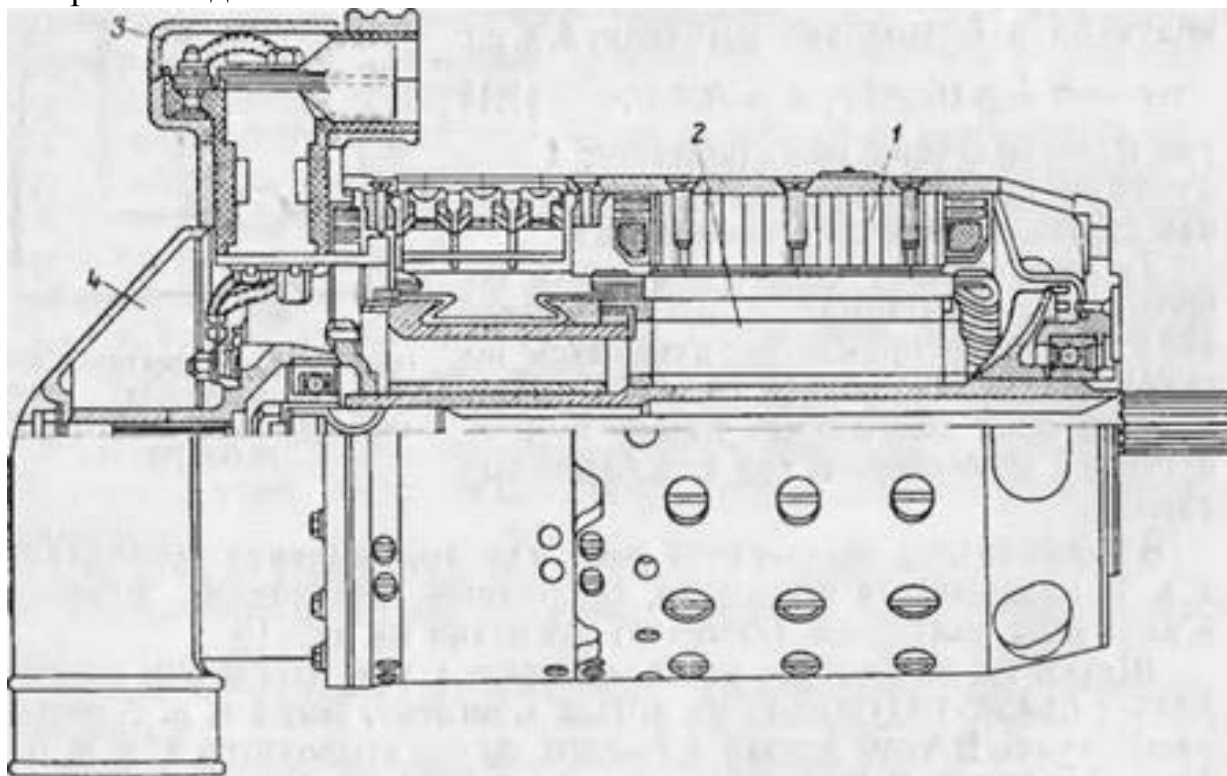


Рисунок 1 – Основные конструктивные узлы стартер-генератора ГСР-СТ-12000ВТ:
1 – корпус с полюсами, с катушками и щеткодержателями; 2 — якорь с коллектором и обмоткой; 3 — щит с выводными проводами; патрубок 4

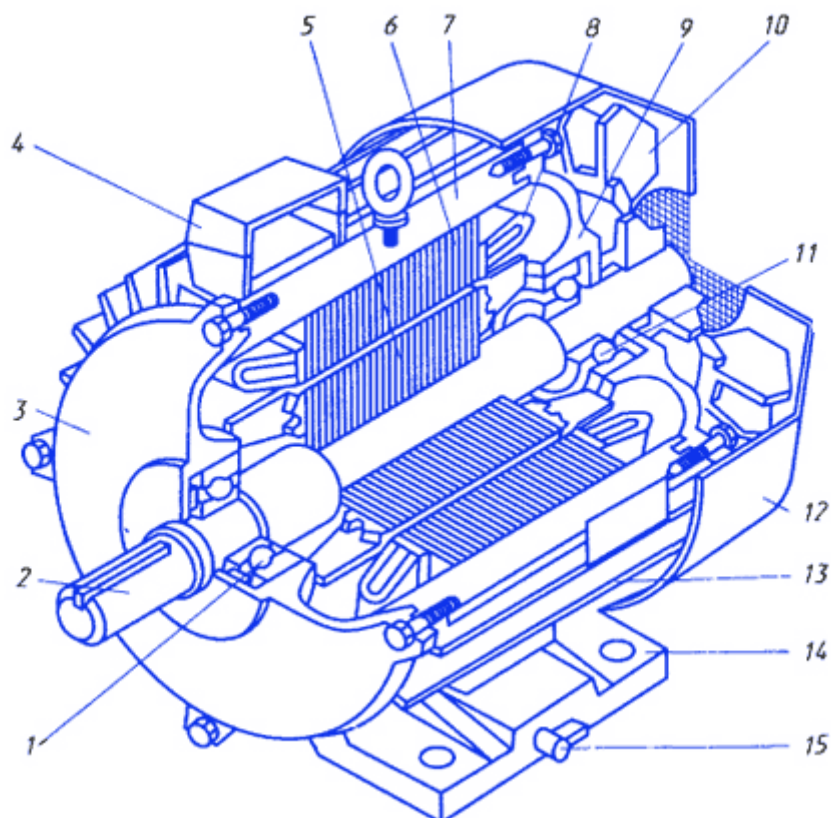


Рисунок 2 – Общий вид и конструкция трехфазного асинхронного двигателя:
1 и 11 – подшипники, 2 – вал, 3 и 9 – подшипниковые щиты, 5 – ротор, 6 – статор, 10 –
вентилятор, 12 – колпак, 13 – ребра, 14 – лапы

Основным отличием их конструкций является: у стартера обмотка находится на вращающемся якоре, который является ротором, а у асинхронного двигателя обмотка находится на статоре. Также у асинхронного двигателя имеется воздушный зазор, величина которого имеет особые свойства в работе двигателя.

Вывод: Если углубиться в данную тему и провести дополнительное сравнение по другим характеристикам, то можно убедиться в том, что в двигатели постоянного тока значительно мощнее двигателей переменного тока, но промышленности и быту гораздо целесообразнее использовать двигатели переменного тока так как они будут гораздо дешевле и полезнее. Но для более точной промышленной техники и сложных приборов стоит использовать более мощные двигатели постоянного тока.

УДК 621.311

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ – КЛЮЧЕВОЙ ВОПРОС
РАЗВИТИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Минько М.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мороз Р.Р.

Одним из важнейших условий ускоренного развития народного хозяйства является экономически обоснованная экономия топливно-экономических ресурсов во всех отраслях промышленности, в том числе и в энергетике. Интенсификация энергосбережения – один из узловых вопросов развития народного хозяйства.

Передача энергии по электрическим сетям сопровождается как оптимально необходимыми потерями при передаче электроэнергии, так и технологическим расходом электроэнергии на её передачу по сетям (ТРС).

В настоящее время известно большое число научных работ и практических рекомендаций, посвящённых методам расчёта и прогнозирования технологических расходов электроэнергии (ТРС) и определения мероприятий по их сокращению. Однако анализ показывает, что многие рекомендации нуждаются в улучшении.

Среди актуальных задач можно назвать:

- исследование современного состояния и определение целесообразных мероприятий по развитию системы сбора информации о режимах работы электрических сетей;
- разработка методов расчёта и способов учёта ТРС в электрических сетях с оценкой погрешностей при различной степени исходной информации;
- совершенствование методов расчёта установившихся режимов электрических сетей и систем;
- разработка методов прогнозирования ТРС и выбора мероприятий по сокращению потерь электроэнергии;
- разработка и совершенствование методик оценки экономического эффекта от внедрения мероприятий по уменьшению ТРС.

Среди мероприятий по снижению ТРС важное место занимает установка в электрической сети компенсирующих устройств, предназначенных для создания оптимальных потоков реактивной мощности при надлежащих уровнях напряжения. Поиск наиболее целесообразных путей доведения оснащённости электрических сетей компенсационными устройствами до оптимального уровня предполагает рассмотрение большого количества факторов различной природы, оказывающих взаимное влияние друг на друга (технические, организационные, финансовые и т.д.).

Задачу доведения компенсации реактивной мощности в сетях до экономически обоснованных значений можно разделить на ряд подзадач, решаемых на различных иерархических уровнях:

- на отраслевом уровне – определение общей потребности в средствах компенсации с целью выпуска их в необходимых объёмах;

- рациональное распределение производимых средств компенсации между предприятиями;
- создание комплекса директивных и методических документов, обеспечивающих реализацию наиболее целесообразных решений организациями, занимающимися проектированием и эксплуатацией сетей;
- на уровне энергосистем – определение и осуществление оптимальной последовательности ввода компенсирующих устройств в системе электроснабжения, объединяющей сети нескольких организаций; выдача потребителям условий по компенсации реактивной мощности, на базе которых формируются текущие потребности в компенсационных установках;
- на уровне потребителей электроэнергии - выбор мощности и мест установки компенсирующих устройств, обеспечивающих заданные энергоснабжающими организациями условия потребления реактивной мощности и нормальные режимы работы электропотребителей.

Для эффективности электроэнергетики в целом, а также отдельных её частей и элементов, наряду с экономией энергоресурсов большое значение имеет надёжность работы электроэнергетических систем и систем электроснабжения. Проблема надёжности относится к числу важнейших проблем, наряду с экономичностью, охраной окружающей среды, качеством электроэнергии. Эта проблема включает ряд критериев, которые в совокупности и характеризуют надёжность в целом. Сюда входят безотказность, устойчивость, режимная управляемость, долговечность, ремонтпригодность.

На различных уровнях электроэнергетики и в различных ситуациях ведущими являются те или иные критерии. Однако во всех случаях повышение надёжности как обязательное условие повышения эффективности производства связано с увеличением затрат, вкладываемых при создании и эксплуатации систем, их частей и элементов. Поэтому всегда стоит задача поиска оптимального решения между надёжностью и затратами. Вследствие этого при поиске оптимальной надёжности приходится решать как социальные, так и экономические задачи, среди которых важными являются следующие:

- определение допустимых капиталовложений в резервирование энергетики, поскольку оно неизбежно связано с перераспределением капиталовложений и материальных ресурсов;
- обоснование уровня надёжности системы по тем или иным критериям. Теоретически этот уровень должен отвечать требованию наибольшей эффективности в смысле соответствия оптимальному национальному доходу, как главному критерию оптимальности народного хозяйства. Однако в настоящее время нет метода определения этого соответствия и практически эта задача решается путём поиска минимума приведенных затрат с учётом ущербов от потерь надёжности и корректировок по социальным факторам;
- обоснование оценок удельных и полных значений ущербов от нарушений электроснабжения различных потребителей;

- определение социальных условий и показателей в зависимости от уровней надёжности электроснабжения, особенно для потребителей системы коммунально-бытового назначения.

В настоящее время большая часть электроэнергии, вырабатываемой электростанциями, потребляется на промышленных предприятиях. Так как производительность труда непосредственно связана с энергооборужённостью, то по мере совершенствования производства, т.е. повышения производительности труда, будет увеличиваться потребление электроэнергии предприятиями. Это, в свою очередь, выдвигает проблему рационального потребления электроэнергии на промышленных предприятиях на первый план.

Экономия электроэнергии непосредственно в системе электроснабжения не должна осуществляться за счёт снижения её надёжности и ухудшения качества, так как эти показатели влияют на производительность труда и приводят к браку продукции. Основная задача проектирования и рациональной эксплуатации системы промышленного электроснабжения – обеспечение минимального электропотребления для получения эффективных технологических процессов на высоком уровне.

УДК 536.2:004.31

СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В КОМПЬЮТЕРАХ

Куропатский А.П., Куцко И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Аннотация: в данной статье рассматриваются основные системы охлаждения микропроцессоров, их структура, принцип и эффективность работы. Исходя из вышеперечисленных особенностей, делается вывод о целесообразности их применения.

Ключевые слова: охлаждение, компьютер, процессор, рассеиваемая мощность, видеокарта, тепловыделение, радиатор.

Текст доклада: На протяжении около 80 лет компьютеры используются для решения большого количества задач, с которыми мы сталкиваемся. Применяемые изначально в единичных экземплярах, они стали важной частью жизни большинства людей. Развитие технологий позволяет инженерам повышать вычислительную мощность своих машин для достижения новых целей и решения еще более сложных проблем.

Главными вычислительными органами компьютера являются процессор и видеокарта (видеопроцессор). Для их создания используют транзисторы. Кратко принцип работы биполярного транзистора в ключевом режиме можно описать так: при подключении к выводам эмиттера и базы открывающего его напряжения транзистор переходит в открытое состояние, при подключении к этим выводам напряжения близкого к нулю – транзистор закрывается. Официальной датой его появления на свет считается 23 декабря 1947 года. Авторами этого изобретения стали сотрудники научно-исследовательского центра «Bell Labs» американские физики Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн.

Количество транзисторов с каждым новым поколением процессоров увеличивается, а их размеры – уменьшаются. Число транзисторов возросло с нескольких тысяч до 10 миллиардов, сами же они занимают не более 5-7 нм, а общая вычислительная мощность – в 27 триллионов раз больше. Для того, чтобы обеспечить стабильную работу микропроцессоров, им требуется постоянное охлаждение. Система очень сильно греется под действием электрического тока и без должного внимания может очень быстро выйти из строя. Решением этой проблемы люди занимаются с момента создания первой ЭВМ.

Система охлаждения микропроцессора нужна для охлаждения кристалла процессора от перегрева. Максимальная температура кристалла процессора, при его работе, может составлять 100°C. При достижении этой температуры процессор начинает реагировать на это, в данном случае он начинает понижать частоту своей работы, чтобы предотвратить перегрев. Желательная температура колеблется в диапазоне 40-60°C, чем ниже, тем лучше.

Все системы охлаждения делятся на пассивные и активные.

Активные системы бывают жидкостные и воздушные.

Пассивные – представляют собой радиатор или несколько радиаторов, связанных тепловыми трубками. Радиатор (анг. Radiate – излучатель) с одной

стороны представляет плоскую поверхность, которая плотно прилегает к поверхности процессора и принимает тепло, а остальными частями рассеивает его. Радиаторы изготавливаются из металлов с хорошей теплопроводностью, таких как алюминий, медь или серебро. Самой высокой теплопроводностью обладает серебро, но из-за своей высокой стоимости уступает в популярности меди и алюминию. Они работают без кулеров, следовательно, без электричества, из-за этого они не способны рассеять большое количество теплоты, так как их рассеиваемая мощность в лучших моделях достигает значения в 150-200 Вт (при условии не круглосуточного использования и хорошо «проветриваемого» корпуса компьютера).

Воздушные – представляют собой радиатор, работающий вместе с кулером. Такие системы распространены из-за своей простоты, невысокой стоимости и с хорошей надёжностью. Технические особенности: кулер способен вращаться со скоростью от 300 об/мин до 2500 об/мин, наличие нескольких тепловых трубок, соединяющих площадку примыкания к процессору, и радиатор, помогающий эффективнее охлаждать процессор. Также есть несколько разновидностей воздушного охлаждения: башенное, классическое и турбинное.

1. Башенное – радиаторная башня располагается на процессоре и занимает место от материнской платы до противоположной стенки корпуса. На стенке корпуса устанавливается кулер (расположение кулера должно быть обязательно по потоку холодного воздуха) в корпусе для максимально эффективного охлаждения. Максимальная рассеиваемая мощность до 350 Вт (при условии хорошо вентилируемого корпуса). Используется только для процессоров (CPU).

2. Классическое – радиатор, примыкающий к процессору соединённый с кулером, который захватывает воздух со стороны стенки корпуса. Максимальная рассеиваемая мощность до 150 Вт. Такой тип, в большей степени, актуален для видеопроцессоров, чем для обычных процессоров, так как на видеокарте больше места для размещения радиатора.

3. Турбинное – используется только для видеопроцессоров. Часто применяется в маленьких корпусах с полноценной видеокартой, так как отведённое от процессора тепло, переданное воздуху, выводится сразу за пределы корпуса.

Жидкостное (СВО – система водяного охлаждения) – охлаждение происходит при помощи охлаждающей жидкости, может охлаждать как процессор, так и графический процессор одновременно, в зависимости от своей мощности. Компоновки такой системы делятся на 3 типа: для охлаждения одного процессора, для параллельного охлаждения сразу 2-х или более процессоров, или последовательного охлаждения 2-х или более процессоров (не очень эффективное построение системы, актуально только для частных вариантов). Такая система является одной из самых сложных, так как имеет много составляющих её компонентов: резервуар с охлаждающей жидкостью (хладагентом), водяная помпа, гидрорадиатор, теплообменник, кулер гидрорадиатора и сам трубопровод:

1. Резервуар с охлаждающей жидкостью или же расширительный бачок хранит в себе охлаждающую жидкость. В нее, в свою очередь, погружена водяная помпа для прокачки жидкости по всей системе.

2. Гидрорадиатор – представляет собой радиатор, включённый в круг циркуляции жидкости, для теплообмена с хладагентом. Вентиляторы, прикреплённые к радиатору, служат для рассеивания теплоты, которую радиатор принял от жидкости.

3. Теплообменник – металлический блок, служащий для передачи тепла от процессора к хладагенту. Представляет собой герметичный блок с медной пластиной, которая прилегает к процессору и постоянно омывается охлаждающей жидкостью. Имеет одно впускное отверстие для подачи жидкости с радиатора и одно выпускное отверстие, соединённое с резервуаром.

4. Водяная помпа – прибор, полностью погружённый в хладагент. Служит для прокачки жидкости по всей СВО. Именно от мощности помпы и скорости рассеивания радиатора зависит то, сколько теплоты способна отвести система охлаждения от процессора.

Таким образом, можно сказать, что СВО достаточно универсальная система, которая может устанавливаться как в большие корпуса, так и в маленькие. Обладает хорошим показателем отвода тепла до 800 Вт при тихой работе в рамках 35-40 дБ в пике нагрузки, однако такая система стоит, в среднем, в 3-4 раза дороже воздушной системы охлаждения.

Из всего многообразия систем жидкостного охлаждения, можно также отметить масляные системы охлаждения и системы на жидком азоте, но, если углубиться в тонкости их работы, можно понять, что данные системы не получили массовой известности и популярности в мире классических стационарных компьютеров.

Масляная система охлаждения в своём составе содержит ёмкость, заполненную диэлектрической жидкостью (масло машинное, масло растительное, трансформаторное масло, вазелиновое масло и т.п.). В неё погружены почти все компоненты компьютера. Исключение составляют жёсткие диски. Масло, диэлектрическая жидкость, циркулирует из «аквариума», проходя через радиатор, установленный снаружи ёмкости, и возвращается обратно. Среди плюсов данной системы можно выделить хорошее постоянное охлаждение всех комплектующих, бесшумность и необычность, а среди минусов - невозможность очистки комплектующих после их демонтажа, высокая стоимость, хрупкость конструкции и отсутствие системы в продаже

Система охлаждения при помощи жидкого азота используется только в качестве развлечения либо установки мировых рекордов по «разгону» процессора, так как повседневное использование её невозможно. Ещё в начале 2000-х годов группа любителей «разогнала» процессор Intel Pentium 4 (1 ядро, 2000 МГц, 130 nm техпроцесс, 52 Вт, с допустимым напряжением 1,36-1,45 В) до параметров 5225 МГц, 1,886 В, 450 Вт. Система устроена так, чтобы жидкий азот сам поступал на горизонтально лежащую материнскую плату, а точнее прямоком в испаритель жидкого азота, который был прикреплён к процессору, и охлаждал его до температуры -195°C . При настолько низкой температуре увеличивается

проводимость полупроводников в процессоре, что благоприятно сказывается на работе «разогнанного» процессора при нагрузках.

Дополнительными элементами систем охлаждения являются:

1. Термопаста – представляет собой смесь, в которую входят оксиды металлов (цинка, алюминия, вольфрама, меди, серебра и т.д.), нитридов (бора, алюминия) и графит, созданная для избавления от неровностей между кристаллом или рубашкой процессора и подложкой системы охлаждения. Теплопроводность термопасты может достигать значений вплоть до 13 Вт/(м*К). Наносится тонким слоем на всю поверхность процессора. Термопаста обладает хорошей теплопроводностью. Она необходима к использованию на процессоре с мощностью от 15 Вт.

2. Термопрокладка – это тонкий эластичный лист с добавлением керамики или графита. Обладает теплопроводностью до 7-8 Вт/(м*К). Служит для заполнения неровностей и соединения процессоров (до 15 Вт), цепей питания, северного или южного моста с радиаторами охлаждения.

3. Жидкий металл – смесь металлов с низкой температурой текучести и хорошей тепло- и электропроводностью. Составляющие жидкого металла: галлий, индий, олово и цинк. Теплопроводность жидкого металла, в разы выше, чем у термопасты, составляет 40-80 Вт/(м*К). Важное отличие от термопасты: можно нанести на кристалл процессора для более тесного контакта с рубашкой. Наносится на процессор очень тонким слоем. Важным условием является недопущение попадания на плату, из-за угрозы короткого замыкания. Также её нельзя использовать с алюминием, так как нагрев вызывает химическую реакцию между ними.

4. Теплопроводные трубки – медные трубки, запечатанные с двух сторон, с хладагентом внутри, либо, с использованием новых технологий, пористые внутри, с тем же хладагентом. Служат для быстрой передачи теплоты от процессора к радиатору или между радиаторами.

Подводя итоги, очевидно, что существуют различные варианты охлаждения микропроцессоров, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы. Самыми эффективными являются система воздушного охлаждения башенного типа и СВО. Благодаря своему высокому коэффициенту рассеивания тепла, вплоть до 350 Вт, они нашли широкое применение в стационарных компьютерах множества пользователей. Самыми редко встречаемыми являются система охлаждения на жидком азоте, масляные и пассивные. Первые две являются дорогостоящими и неудобными в повседневном использовании, а третья – неудобна из-за своего низкого коэффициента рассеивания тепла. С течением времени одни системы потеряют свою актуальность, потому что на их смену придут более эффективные варианты. Другие же – наоборот, но потребность в охлаждении микропроцессоров всегда будет актуальна, что, в свою очередь, будет стимулировать развитие этой отрасли инженерии.

Литература

1. Пташинский, В., Железо ПК. Популярный самоучитель, 2-е изд. / В. Пташинский, Г. Кондратьев – М.: Питер, 2008. – 380 с.

2. Бесплатная Интернет-библиотека по всем областям знаний. – Режим доступа: <https://www.zipsites.ru/>. – Дата доступа: 22.10.2020
3. Системы охлаждения для персонального компьютера и их разновидности. – Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/programming/>. – Дата доступа: 22.10.2020
4. Системы охлаждения — от радиатора до жидкого азота – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/64162/>. – Дата доступа: 24.10.2020

УДК 621.3.087.47

**УСТРОЙСТВА ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ
И ОБЩЕНИЯ С ТЕХНИКОЙ**

Мороз М.А, Сенькевич И.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

В данной статье рассматриваются основные характеристики и команды устройств управления и общения голосом с различными устройствами. Анализируются причины и факторы дальнейшего развития данных устройств. Рассмотрим, какую роль играют голосовые ассистенты в повседневной жизни человека. Предложим рекомендации по улучшению работы данных устройств, для расширения их возможностей.

Уже многие годы человечество активно использует клавиши или кнопки для выполнения той или иной задачи. Однако около 23 лет назад начали зарождаться голосовые помощники. Основная задача у них была простая – облегчить жизнь человека путем непосредственного общения с ним. Первыми устройствами, где применялось голосовое общение человека с машиной, были автомобили. Разработчики автомобилей хотели сделать так, чтобы водитель не отвлекался от дороги, по которой движется, для того, чтобы нажать на какую-либо клавишу, включающую определенное действие (например: включить ближний свет). А просто удерживать кнопку на руле, для включения ассистента и потом, после его включения, сказать какую-либо команду.

При подготовке материала по данной теме были изучены устройства голосового ввода информации в автомобилях и гаджетах путем изучения некоторых устройств из различных источников.

Рассмотрим, где используются голосовые помощники, и какие они имеют преимущества и недостатки по сравнению с обычными устройствами ввода через клавиатуру и кнопки, выполняющие специальные операции.

Целью исследования стало изучение голосовых ассистентов автомобиля и смартфона и теоретическое прогнозирование будущих устройств управления голосом.

Выявим общие особенности этих устройств, применяемых в автомобиле и в современных гаджетах, а также определим функциональные возможности этих систем, а также рассмотрим какие команды, они могут выполнять.

В качестве изучаемого предмета был взят автомобиль *Acura RL* 2004 года и голосовой помощник “*Siri*”. Голосовой помощник от *Honda Motor Corporation* обладает возможностью распознавания голоса с более чем 560 голосовыми командами для управления навигационной системой и дисплеем, беспроводным телефоном, аудиосистемой, системой отопления и вентиляции. Устройство голосового ввода от *Apple* – это разработка Международного центра искусственного интеллекта *SRI*, является ответвлением финансируемого Управлением перспективных исследовательских программ (*DARPA*), описанного как, возможно, самый большой проект искусственного интеллекта на сегодняшний момент. Сравнительный анализ показал, что “*Siri*” имеет в своем арсенале большое количество команд и может быстрее обрабатывать

информацию, благодаря доступу в сеть Интернет. Голосовой помощник в автомобиле *Acura RL* может выполнять меньшее число команд, чем их число применяемых для управления смартфоном. Поиск нужной информации в смартфоне с помощью клавиатуры часто занимает много времени из-за частых ошибок при наборе при малых размерах символов. При запоминании нужных команд, управление голосом ускоряет процесс поиска.

Это объясняется тем, что в исследуемом автомобиле намного меньше функций для выполнения, чем в современных смартфонах. А также разница между годами разработки ассистентов в 12 лет играет значительную роль.

По итогам анализа можно сделать вывод, что любое устройство голосового ввода может выполнять только предписанные в программном обеспечении команды. Отдельные слова лучше распознаются техникой, чем слитный текст. Результаты исследования показали, что на данный момент в мире присутствует множество голосовых помощников для облегчения повседневной жизни человека. Устройства голосового ввода окружают людей практически везде: в бытовой технике, в автомобилях и различных гаджетах. Однако множество компаний работают над тем, чтобы голосовые помощники могли выполнять команды через общение с человеком слитным текстом.

В самолетах женский машинный голос предупреждает пилотов о различных сложных ситуациях, происходящих при работе отдельных его узлов.

Чтобы узнать присутствует ли в автомобиле голосовой ассистент, нужно найти две основные вещи: микрофон (практически во всех случаях микрофонов в авто 2 и находятся они на потолке), клавиша (как правило, она находится на руле и включается удержанием). После того как зажимается эта кнопка, авто самостоятельно выключает звук из всех динамиков и ослабляет вентиляторы для обдува салона. Затем издается характерный писк, после которого водитель может сказать команду. Если устройство голосового управления не смог обработать эту команду. Оно попросит повторить команду еще раз.

Однако выявлен основной недостаток голосовых помощников в авто: на больших скоростях устройства голосового управления дают сбои из-за повышенного уровня шума. Поэтому автомобиль должен быть укомплектован хорошей самоизоляцией. Либо иметь в своем арсенале функцию активного шумоподавления, которая использует те же микрофоны, что использует устройство голосового ввода.

Несмотря на огромные успехи в сфере микрофонных технологий и распознавании речи, технология все еще в начале своего пути. О действительно интеллектуальном ассистенте речь пока не идет. У многих людей есть умные колонки. Однако мало кто из них используют эти устройства в качестве реального помощника, для управления их работой. Предстоит еще огромная работа для развития искусственного интеллекта у устройств голосового общения и управления, чтобы оно находилось на одном уровне с пользователем. Ассистентами следует пользоваться в той или иной форме в разумных пределах.

Планируется дальнейшее изучение голосовых ассистентов в автомобилях, таких как *Mercedes-Benz*, *Audi*, *BMW*. Следует сравнить их в одинаковых условиях и выявить лучшего помощника в “немецкой тройке”.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Siri/> – Дата доступа: 20.10.2020
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mediafire.com/?k8jqxt8q6t7uq/> – Дата доступа: 20.10.2020
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apple.com/ru/siri/> – Дата доступа: 20.10.2020
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B8/ – Дата доступа: 20.10.2020
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autocentre.ua/опыт/tehnologii/honda-integririvala-v-mashiny-servis-siri-ot-apple-63918.html/> – Дата доступа: 20.10.2020
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/63988-evolyuciya-golosovuyh-romoshchnikov/> – Дата доступа: 20.10.2020
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Acura_RL/ – Дата доступа: 20.10.2020

УДК 621.432.9

МАТРИЦЫ ЦИФРОВЫХ ФОТОАППАРАТОВ

Казак А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Типы матриц

Матрица цифрового фотоаппарата – это, в первую очередь, микросхема. Она преобразует световые лучи, которые, преломившись в системе линз и зеркал, попадают на нее. В результате такого преобразования получается электрический сигнал, который выводится в цифровом виде, образуя снимок. За весь этот процесс отвечают специальные фотодатчики, расположенные на самой плате. Чем больше количество датчиков, чувствительных к свету, тем больше разрешение, и, как следствие, качество конечного снимка.

Устройство с зарядовой связью (CCD)

Устройство с зарядовой связью (ПЗС) было изобретено в 1969 году учеными Bell Labs в Нью-Джерси, США. В течение многих лет это была распространенная технология захвата изображений, от цифровой астрофотографии до машинного зрения. ПЗС-сенсор представляет собой кремниевый чип, содержащий массив светочувствительных участков (рис. 1).

Термин «устройство с зарядовой связью» фактически относится к методу, с помощью которого пакеты зарядов перемещаются по микросхеме от фото ячеек к считыванию, сдвиговому регистру, сродни понятию бригады ведра. Тактовые импульсы создают потенциальные ямы для перемещения пакетов заряда по микросхеме, прежде чем они будут преобразованы в напряжение конденсатором. ПЗС-датчик сам по себе является аналоговым устройством, но выходной сигнал немедленно преобразуется в цифровой сигнал с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в цифровых камерах, как на кристалле, так и вне его.

Пакеты заряда ограничены скоростью, с которой они могут быть переданы, поэтому перенос заряда является причиной главного недостатка ПЗС - скорости, но также приводит к высокой чувствительности и согласованности пикселей ПЗС. Поскольку каждый пакет заряда имеет одинаковое преобразование напряжения, ПЗС-матрица очень однородна по своим светочувствительным участкам. Перенос заряда также приводит к явлению «расплывания», когда заряд с одного светочувствительного участка перетекает на соседние участки из-за конечной глубины лунки или емкости заряда, устанавливая верхний предел полезного динамического диапазона датчика. Это явление проявляется в размытии ярких пятен на изображениях с камер CCD.

Чтобы компенсировать небольшую глубину ямы в ПЗС, используются микролинзы для увеличения коэффициента заполнения или эффективной светочувствительной области, чтобы компенсировать пространство на кристалле, занимаемое регистрами сдвига с зарядовой связью. Это улучшает эффективность пикселей, но увеличивает угловую чувствительность для входящих световых лучей, требуя, чтобы они попадали на датчик близко к нормальному падению для эффективного сбора.

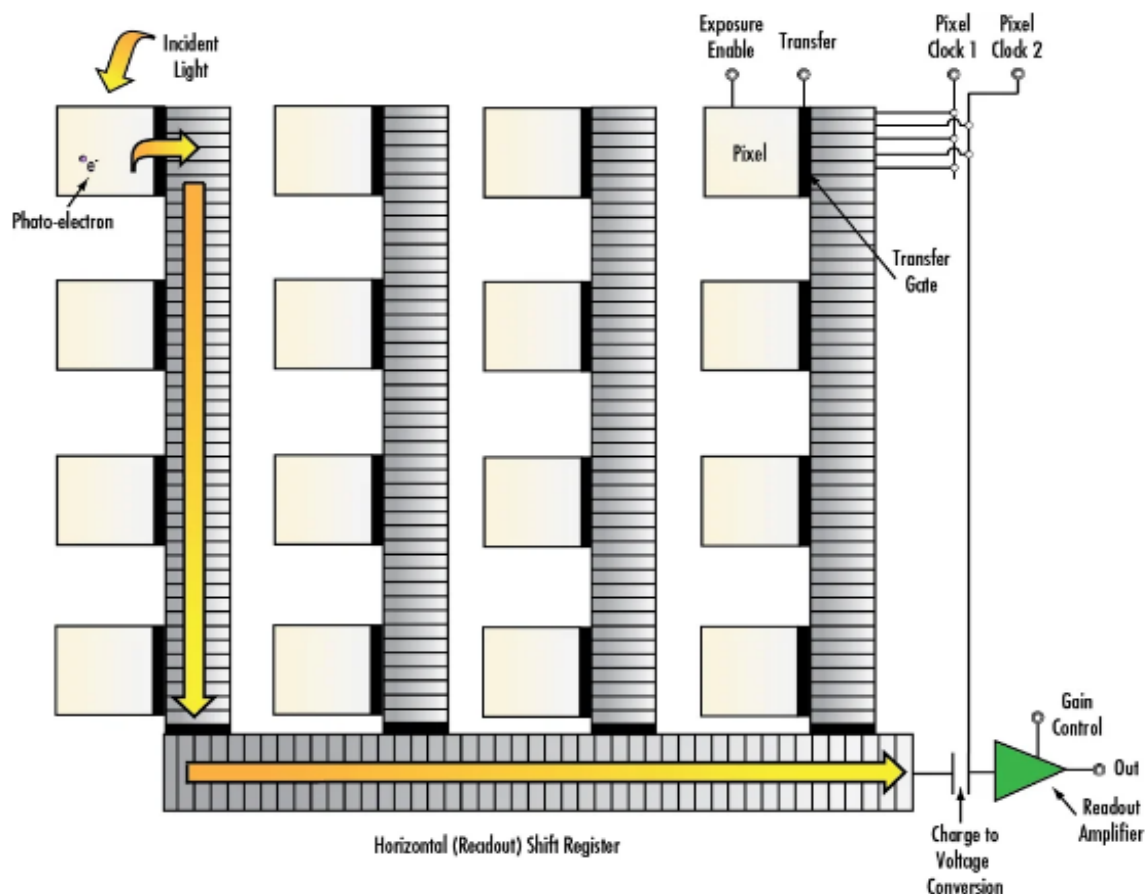


Рисунок 1 – Блок-схема устройства с зарядовой связью (CCD)

Дополнительный металлооксидный полупроводник (CMOS)

Дополнительный металлооксидный полупроводник (CMOS) был изобретен в 1963 году Фрэнком Ванлассом. Однако он не получил на него патента до 1967 года, и он не стал широко использоваться для приложений обработки изображений до 1990-х годов. В датчике CMOS заряд светочувствительного пикселя преобразуется в напряжение на участке пикселя, а сигнал мультиплексируется по строкам и столбцам в несколько встроенных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). CMOS по своей конструкции является цифровым устройством. Каждый узел, по сути, представляет собой фотодиод и три транзистора, выполняющих функции сброса или активации пикселя, усиления и преобразования заряда, а также выбора или мультиплексирования (рис. 2). Это приводит к высокой скорости работы датчиков CMOS.

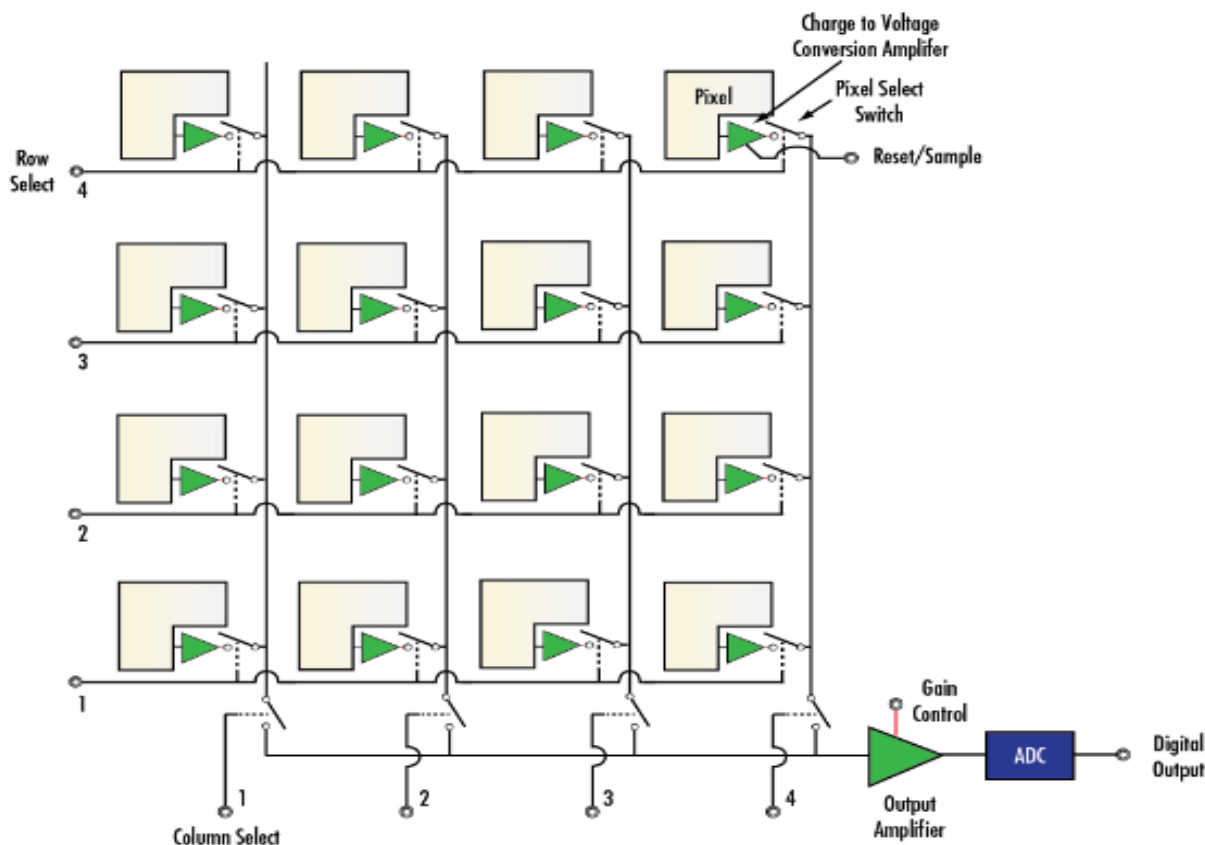


Рисунок 2 – Блок-схема дополнительного металлооксидного полупроводника (CMOS)

Конфигурация мультиплексирования КМОП-сенсора часто сочетается с электронной рольставни. Хотя с помощью дополнительных транзисторов на участке пикселей можно реализовать глобальный затвор, при котором все пиксели экспонируются одновременно, а затем считываются последовательно. Дополнительным преимуществом датчика CMOS является его низкое энергопотребление и рассеиваемая мощность по сравнению с эквивалентным датчиком CCD из-за меньшего расхода заряда или тока. Кроме того, способность CMOS-сенсора работать с высокими уровнями освещенности без размытия позволяет использовать его в специальных камерах с широким динамическим диапазоном, даже способных отображать сварные швы или световые нити. КМОП-камеры также имеют тенденцию быть меньше, чем их цифровые ПЗС-аналоги, поскольку цифровые ПЗС-камеры требуют дополнительных внешних схем АЦП.

Процесс изготовления многослойной МОП-матрицы КМОП-сенсора не позволяет использовать микролинзы на кристалле, что снижает эффективную эффективность сбора или коэффициент заполнения сенсора по сравнению с эквивалентом ПЗС. Эта низкая эффективность в сочетании с несогласованностью пикселей в пиксели способствует более низкому соотношению сигнал/шум и более низкому общему качеству изображения по сравнению с датчиками ПЗС.

Альтернативные сенсорные материалы

Коротковолновое инфракрасное излучение (SWIR) – это новая технология визуализации. Обычно его определяют как свет в диапазоне длин волн 0,9-1,7

мкм, но его также можно отнести к диапазону 0,7-2,5 мкм. Использование длин волн SWIR позволяет получать изображения изменений плотности, а также сквозь препятствия, такие как туман. Однако обычное изображение CCD и CMOS недостаточно чувствительно в инфракрасном диапазоне, чтобы быть полезным. По этой причине используются специальные сенсоры на основе арсенида индия-галлия (InGaAs). Материал InGaAs имеет запрещенную зону, что делает его полезным для генерации фототока из инфракрасной энергии. Эти датчики используют массив фотодиодов InGaAs, как правило, в архитектуре датчика CMOS для видимых изображений и изображений сравнения SWIR (SWIR – коротковолновый инфракрасный свет 0,7-2,5 мкм).

На более длинных волнах, чем SWIR, тепловое изображение становится доминирующим. Для этого используется матрица микроболометров с ее чувствительностью в диапазоне длин волн 7-14 мкм. В матрице микроболометров каждый пиксель имеет болометр, сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры. Это изменение сопротивления считывается путем преобразования в напряжение электроникой (рис. 3). Эти датчики не требуют активного охлаждения, в отличие от многих инфракрасных тепловизоров, что делает их весьма полезными в использовании.

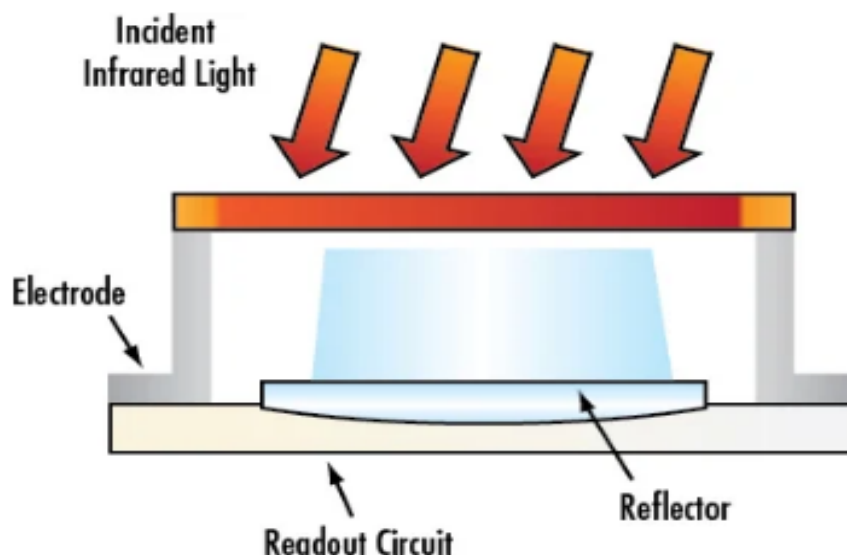


Рисунок 3 – Изображение поперечного сечения матрицы датчика микроболометра

Характеристики датчика

Пиксели

Когда свет от изображения падает на камеру-сенсор, он собирается матрицей небольших потенциальных ям, называемых пикселями. Изображение делится на эти маленькие дискретные пиксели. Информация с этих фото ячеек собирается, систематизируется и передается на монитор для отображения. Пиксели могут быть, например, фотодиодами или фото конденсаторами, которые генерируют заряд, пропорциональный количеству света, падающего на это дискретное место датчика. Способность пикселя преобразовывать падающий фотон в заряд определяется его квантовой эффективностью. Например, если на десять падающих фотонов образуется четыре фотоэлектрона, то квантовая

эффективность составляет 40%. Типичные значения квантовой эффективности для твердотельных формирователей изображения находятся в диапазоне 30-60%. Квантовая эффективность зависит от длины волны и не обязательно одинакова в зависимости от интенсивности света. Кривые спектрального отклика часто определяют квантовую эффективность как функцию длины волны.

В цифровых камерах пиксели обычно квадратные. Обычные размеры пикселей составляют от 3 до 10 мкм. Хотя датчики часто определяются просто количеством пикселей, размер очень важен для визуализации оптики. Большие пиксели, как правило, имеют высокую емкость насыщения заряда и высокое отношение сигнал/шум (SNR). С маленькими пикселями становится довольно легко достичь высокого разрешения при фиксированном размере сенсора и увеличении изображения, хотя такие проблемы, как размытость изображения, становятся более серьезными, а перекрестные помехи пикселей снижают контраст на высоких пространственных частотах. Простая мера разрешения сенсора – это количество пикселей на миллиметр.

Аналоговые камеры CCD имеют прямоугольные пиксели (больше по вертикали). Это результат ограниченного количества строк развертки в стандартах сигналов (525 строк для NTSC, 625 строк для PAL) из-за ограничений полосы пропускания. Асимметричные пиксели дают более высокое разрешение по горизонтали, чем по вертикали. Аналоговые камеры CCD (с одинаковым стандартом сигнала) обычно имеют одинаковое разрешение по вертикали. По этой причине отраслевым стандартом визуализации является определение разрешения по горизонтали.

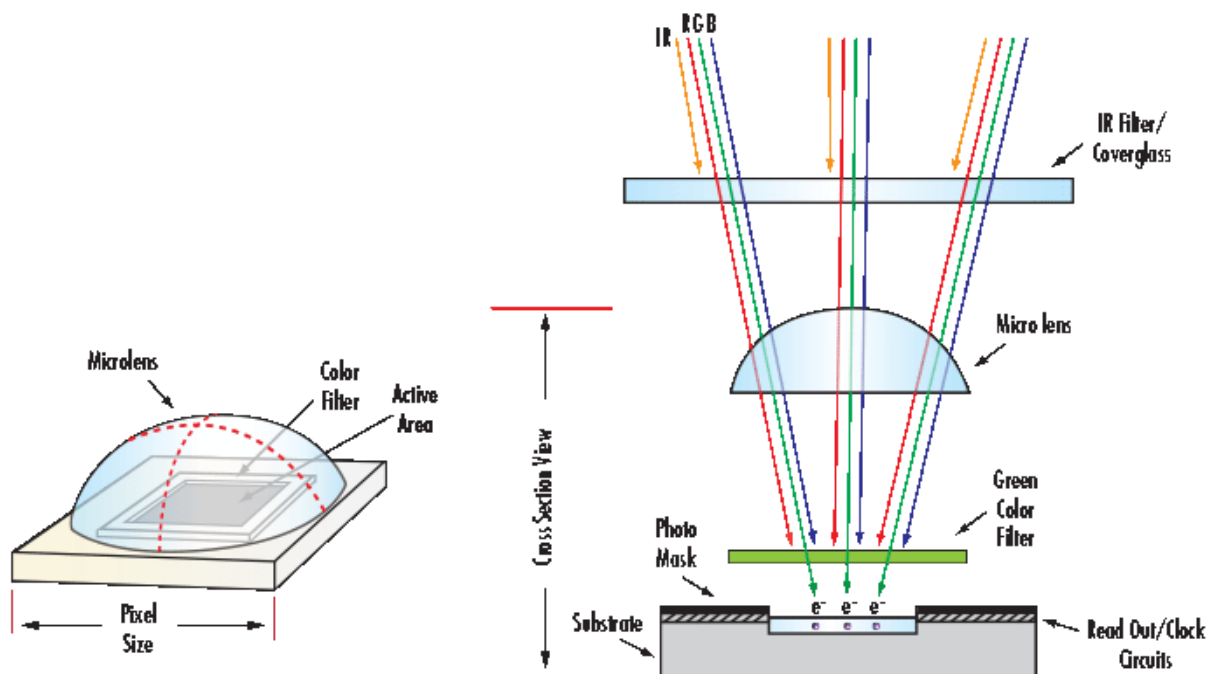


Рисунок 4 – Изображение пикселей сенсора камеры с цветным RGB и фильтрами блокировки инфракрасного излучения

Размер сенсора

Размер активной области сенсора камеры важен для определения поля зрения системы (FOV). При фиксированном первичном увеличении (определяемом объективом изображения) более крупные датчики обеспечивают большее поле обзора. Существует несколько стандартных размеров сенсоров с зонным сканированием: 1/4", 1/3", 1/2", 1 / 1,8", 2/3", 1" и 1,2", доступны более крупные размеры (рис. 5). Номенклатура этих стандартов восходит к вакуумным лампам Vidicon, используемым для телевизионных формирователей изображения, поэтому важно отметить, что фактические размеры датчиков различаются. **Примечание:** нет прямой связи между размером датчика и его размерами; это чисто устаревшее соглашение. Однако большинство этих стандартов поддерживают соотношение сторон 4:3 (по горизонтали: вертикали).

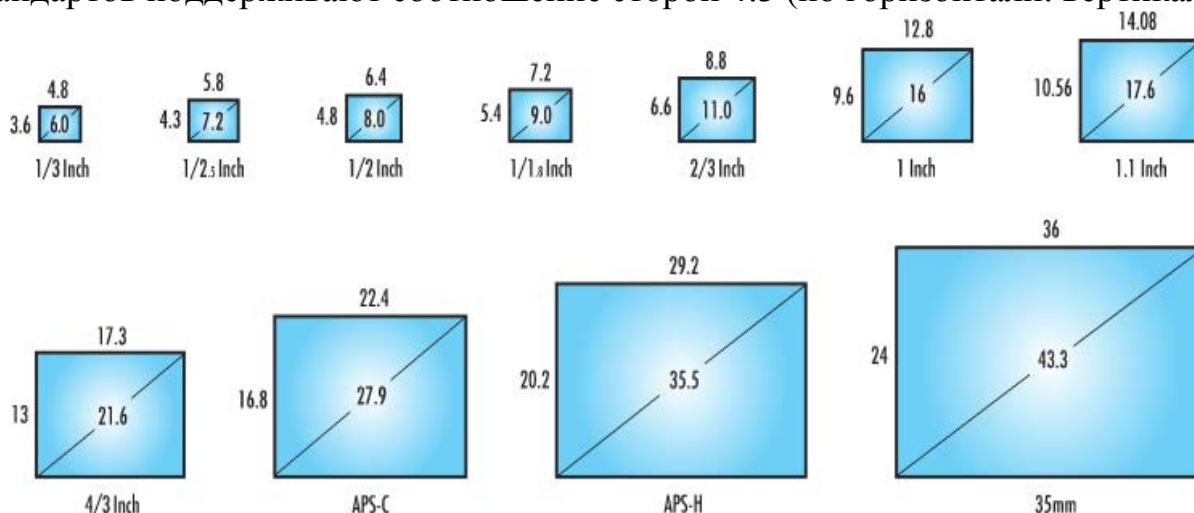


Рисунок 5 – Иллюстрация размеров сенсора для стандартных сенсоров камеры

В таблице 1 показано способность разрешения камеры по размеру пикселей.

Таблица 1 – Способность разрешения камеры по размеру пикселей

Размер пикселя (мкм)	9,9	7,4	5,86	5,5	4,54	3,69	3,45	2,2	1,67
Разрешение (lp / мм)	50,5	67,6	85,3	90,9	110,1	135,5	144,9	227,3	299,4
Типичный 1/2-дюймовый сенсор (MP)	0,31	0,56	0,89	1,02	1,49	2,26	2,58	6,35	11,02
Типичный 2/3-дюймовый датчик (MP)	0,59	1,06	1,69	1,92	2,82	4,27	4,88	12,00	20,83

Одна проблема, которая часто возникает в приложениях для обработки изображений – это способность объектива для обработки изображения поддерживать датчик определенных размеров. Если датчик слишком велик для конструкции объектива, результирующее изображение может исчезнуть и ухудшиться по направлению к краям из-за виньетирования (затухания лучей, проходящих через внешние края объектива формирования изображения). Это обычно называют туннельным эффектом, поскольку края поля становятся

темными. Меньшие размеры сенсора не приводят к этой проблеме виньетирования.

Частота кадров и выдержка

Частота кадров относится к числу полных кадров (которые могут состоять из двух полей), составленных за секунду. Например, аналоговая камера с частотой кадров 30 кадров в секунду содержит два поля по 1/60 секунды. В высокоскоростных приложениях полезно выбирать более высокую частоту кадров, чтобы получить больше изображений объекта, когда он перемещается через поле зрения.

Скорость затвора соответствует времени экспозиции сенсора. Увеличение скорости работы затвора может помочь в создании снимков динамического объекта, которые можно делать только 30 раз в секунду (живое видео).

В отличие от аналоговых камер, где в большинстве случаев частота кадров определяется дисплеем, цифровые камеры позволяют настраивать частоту кадров. Максимальная частота кадров для системы зависит от скорости считывания датчика, скорости передачи данных интерфейса, включая кабели, и количества пикселей (количества данных, передаваемых за кадр). В некоторых случаях камера может работать с более высокой частотой кадров за счет уменьшения разрешения путем объединения пикселей вместе или ограничения интересующей области съемки. Это уменьшает количество данных на кадр, позволяя передавать больше кадров с фиксированной скоростью передачи. В хорошем приближении время экспозиции обратно пропорционально частоте кадров. Однако существует конечное минимальное время между экспозициями (порядка сотен микросекунд) из-за процесса сброса пикселей и считывания, хотя многие камеры имеют возможность считывать кадр при следующей экспозиции (конвейерная обработка); это минимальное время часто можно найти в паспорте камеры.

КМОП-камеры обладают потенциалом для более высокой частоты кадров, так как процесс считывания каждого пикселя может выполняться быстрее, чем при переносе заряда в регистре сдвига ПЗС-датчика. Для цифровых фотоаппаратов выдержки могут составлять от десятков секунд до минут, хотя самые длинные выдержки возможны только с камерами CCD, которые имеют более низкие темновые токи и шум по сравнению с CMOS. Из-за шума, присущего КМОП-формирователям изображения, их полезная экспозиция ограничивается секундами.

Электронный затвор

Еще несколько лет назад в камерах CCD использовались электронные или глобальные затворы, а все камеры CMOS были ограничены рольставнями. Глобальный затвор аналогичен механическому затвору в том, что все пиксели экспонируются и дискретизируются одновременно, а считывание затем происходит последовательно; получение фотонов начинается и останавливается одновременно для всех пикселей. С другой стороны, рольставни подвергают экспонированию, выборке и считыванию последовательно; это означает, что каждая строка изображения отбирается в немного разное время. Интуитивно изображение движущихся объектов искажается рольставнями; этот эффект

можно свести к минимуму с помощью запускаемого строба, помещенного в момент времени, когда период интегрирования линий перекрывается. Обратите внимание, что это не проблема на низких скоростях. Реализация глобального затвора для КМОП требует более сложной архитектуры, чем стандартная модель скользящего затвора, с дополнительным транзистором и накопительным конденсатором, что также позволяет конвейерную обработку или начало экспонирования следующего кадра во время считывания предыдущего кадра. Поскольку доступность CMOS-датчиков с глобальными затворами постоянно растет, камеры CCD и CMOS полезны в приложениях для высокоскоростного движения.

При работе асинхронного затвора, камера готова к получению изображения, но не активирует пиксели до тех пор, пока не получит внешний сигнал запуска. Это противоположно обычной постоянной частоте кадров, которую можно рассматривать как внутренний запуск затвора.

На рисунках 6 и 7 изображены фото при движении объекта при различных технологиях обработки видеосигнала.

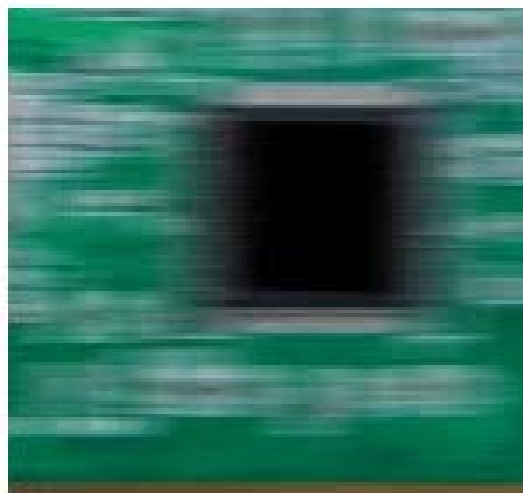


Рисунок 6 – Сравнение размытия в движении:
чип датчика на быстро движущемся конвейере с глобальным затвором (слева)
и непрерывным глобальным затвором (справа)



Рисунок 7 – Сравнение размытия движения в глобальных и рольставнях: чип датчика на медленно движущемся конвейере с глобальной заслонкой (слева) и рольставнями (справа)

Сенсорные экраны

Один из способов увеличить скорость считывания датчика камеры – использовать несколько нажатий на датчик. Это означает, что вместо того, чтобы все пиксели считывались последовательно через один выходной усилитель и АЦП, поле разделяется и считывается на несколько выходов. Это обычно рассматривается как двойное касание, при котором левая и правая половины поля считываются отдельно. Это эффективно удваивает частоту кадров и позволяет легко реконструировать изображение с помощью программного обеспечения. Важно отметить, что если коэффициент усиления не одинаков между отводами датчика или если АЦП имеют немного разные характеристики, как это обычно бывает, то в восстановленном изображении происходит разделение. Хорошая новость в том, что это можно откалибровать. Многие большие датчики с числом пикселей более нескольких миллионов используют несколько касаний датчика. Это, по большей части, применимо только к цифровым камерам с прогрессивной разверткой; в противном случае возникнут трудности с отображением. Производительность датчика с несколькими касаниями во многом зависит от реализации аппаратного обеспечения внутренней камеры.

Монохромные камеры

Датчики CCD и CMOS чувствительны к длинам волн приблизительно от 350 до 1050 нм, хотя диапазон обычно составляет от 400 до 1000 нм. На эту чувствительность указывает спектральная кривая отклика сенсора (рис. 8). Большинство высококачественных камер оснащены фильтром, отсекающим инфракрасный (ИК) диапазон излучения, для получения изображений именно в видимом спектре. Эти фильтры иногда снимаются для получения изображений в ближнем ИК-диапазоне.

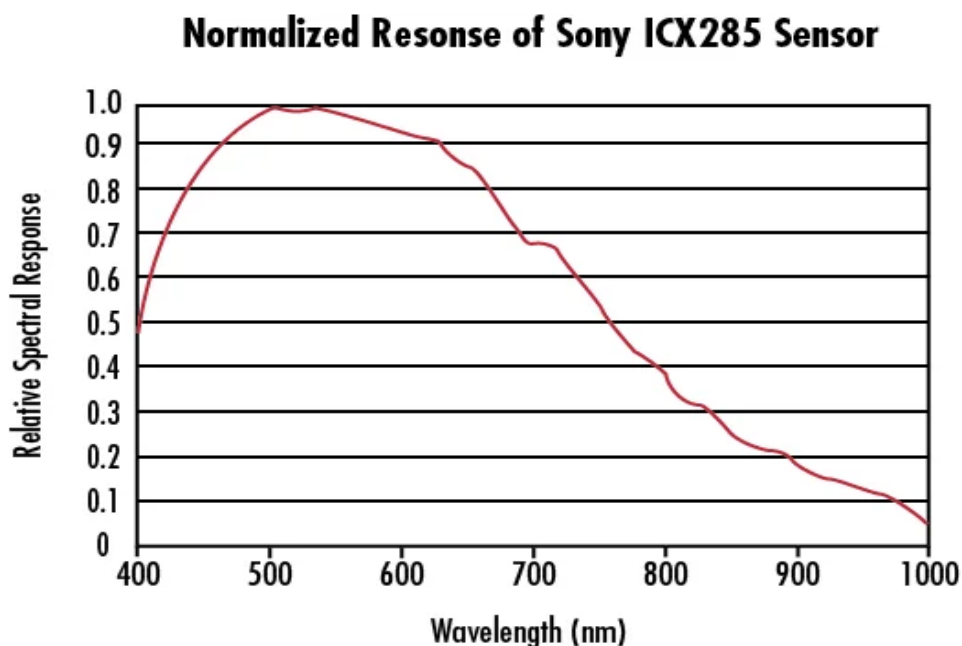


Рисунок 8 – Нормализованная спектральная характеристика типичной монохромной ПЗС-матрицы

КМОП-датчики, как правило, более чувствительны к длинам волн ИК-излучения, чем ПЗС-датчики. Это происходит из-за их увеличенной глубины активной области. Глубина проникновения фотона зависит от его частоты, поэтому более глубокая глубина при заданной толщине активной области производит меньше фотоэлектронов и снижает квантовую эффективность.

Цветные камеры

Твердотельный датчик основан на фотоэлектрическом эффекте и, как следствие, не может различать цвета. Есть два типа цветных ПЗС-камер: однокристалльные и трехчиповые. Одночиповые цветные ПЗС-камеры предлагают обычное и недорогое решение для обработки изображений и используют мозаичный (например, байеровский) оптический фильтр для разделения падающего света на серии цветов. Затем каждый цвет направляется на другой набор пикселей (рис. 9). Точная компоновка мозаичного рисунка зависит от производителя. Поскольку для распознавания цвета требуется больше пикселей, одночиповые цветные камеры по своей природе имеют более низкое разрешение, чем их монохромные аналоги. Степень этой проблемы зависит от конкретного производителя алгоритма интерполяции цвета.

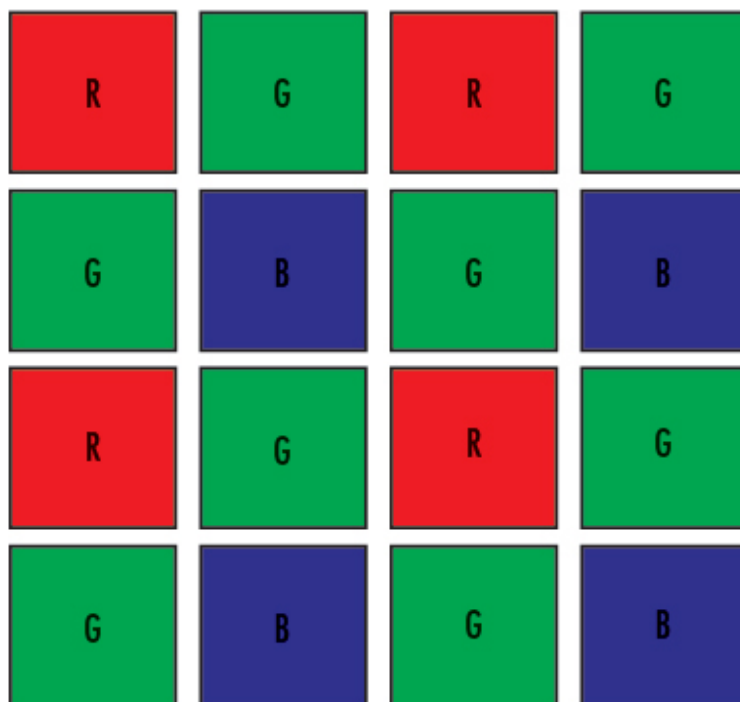


Рисунок 9 – Одночиповый цветной датчик камеры CCD с использованием мозаичного фильтра для фильтрации цветов

Трехчиповые цветные ПЗС-камеры предназначены для решения этой проблемы с разрешением за счет использования призмы для направления каждого участка, падающего спектра на другой чип (рис. 10). Возможно более точное воспроизведение цвета, поскольку каждая точка в пространстве объекта имеет отдельные значения интенсивности RGB, вместо использования алгоритма для определения цвета. Трехчиповые камеры обладают чрезвычайно высоким разрешением, но имеют более низкую светочувствительность и могут быть дорогостоящими. Как правило, требуются специальные линзы 3CCD, которые хорошо корректируют цвет и компенсируют измененный оптический путь, а в случае с байонетом – уменьшенную прозрачность для выступа задней линзы. В конце концов, выбор одного или трех чипов сводится к требованиям приложения.

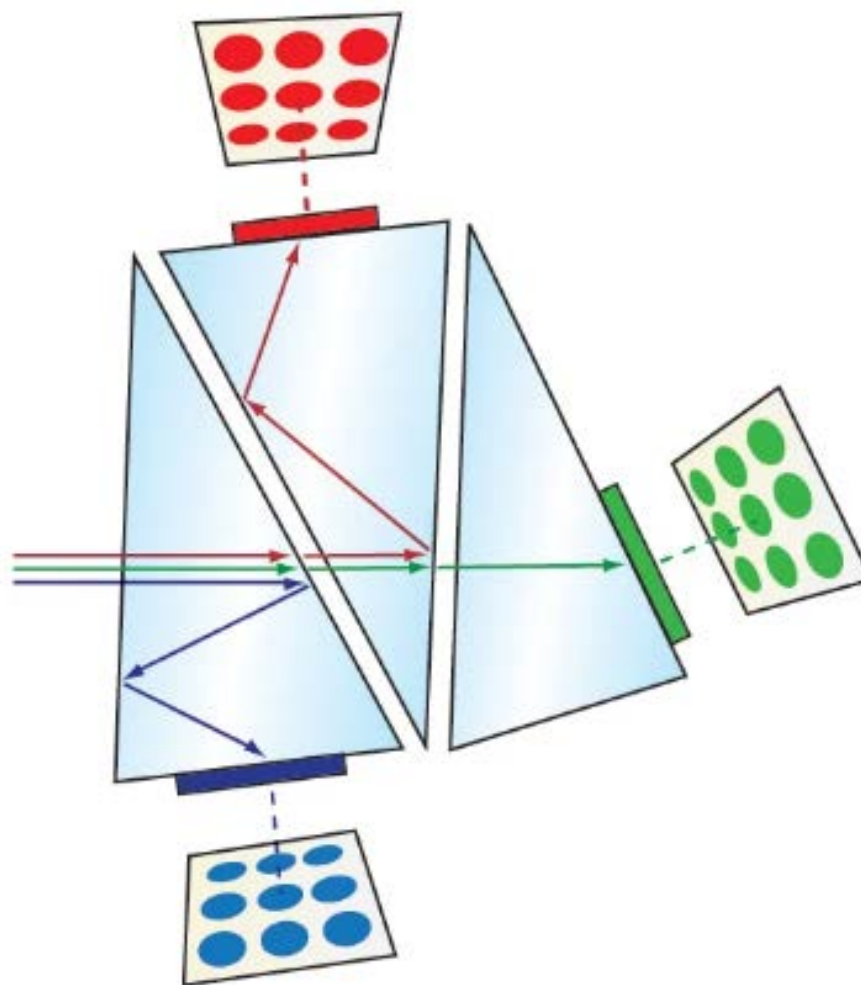


Рисунок 10 – Трехчиповый цветной датчик камеры CCD, использующий призму для разделения цветов

Самым основным компонентом системы камеры является датчик. Тип технологий и функций в значительной степени способствует общему качеству изображения, поэтому знание того, как интерпретировать характеристики сенсора камеры, в конечном итоге приведет к выбору лучшей оптики для формирования изображений и сопряжения с ней электроники.

Литература

1. Фотоматрица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоматрица> – Дата доступа: 20.10.2020
2. Матрицы цифровых камер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/143169/> – Date of access: 20.10.2020.
3. Матрица фотоаппарата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://64bita.ru/matrix.html> – Date of access: 20.10.2020.

УДК 621.432.9

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ВОДОРОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Клюев В.В, Евсиевич И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

В настоящее время самыми популярными двигателями являются двигатели внутреннего сгорания. Однако экологическая ситуация заставляет задуматься о нецелесообразности их использования. Эта и многие другие причины приковали взгляды ученых всего мира к двигателям, способным работать на альтернативной энергии. Альтернативным аналогом двигателей внутреннего сгорания являются электродвигатели. Но они все еще не решают массу проблем, в том числе и экологических. Одним из примеров альтернативной электрической энергии это использование водорода. Вот о нем мы сейчас и поговорим.

Причины выбора водорода не случайны. Во-первых, это самый простой и распространённый газ в природе. Во-вторых, реализация его в качестве топлива, представляет идеальный экологически чистый процесс. Выбросы газов сведены к нулю из-за отсутствия процесса горения, а также полное отсутствие биения и вибраций, обусловленных электрическим приводом. Для того чтобы разобраться, так ли хорош водородный двигатель, разберемся со следующими пунктами.

Водородный двигатель и принцип его работы

Принцип работы водородного двигателя стоит начать с изучения способа получения самого водорода. Ведь именно этот процесс и лег в основу изобретения. Водород получают процессом электролиза воды.

При этом выделяется как сам водород, так и кислород. То есть, затрачивая электроэнергию, мы разлагаем воду на два элемента. А почему бы не запустить этот процесс обратно? Эта идея и стала основой для принципа работы водородного двигателя (рис. 1).

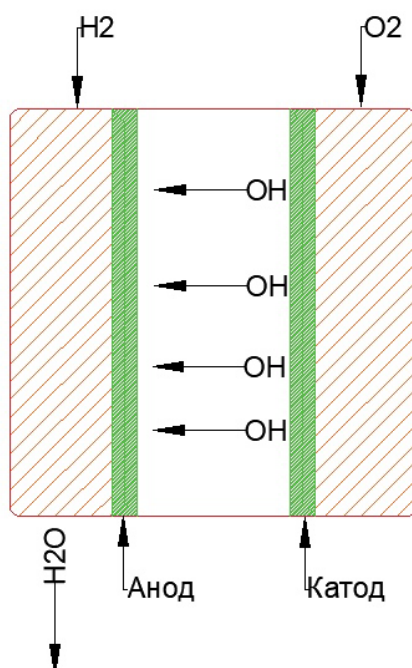


Рисунок 1 – Процесс обратного электролиза.

Водородный двигатель состоит из двух энергетических элементов, отделенных друг от друга тонкой платиновой мембраной. Через один элемент проходят потоки воздуха, через второй поступает водород. Водород стремится соединиться с воздухом, тем самым запуская процесс. Молекула водорода состоит из одного протона и одного электрона. При достижении платиновой мембраны они разделяются – протон пропускается через нее, а электрон нет. Подведя проводник к мембране и выходу воздуха наружу, получим путь электронов, по которому они способны соединиться с протонами, при этом проходя через ротор двигателя, приводят в действие электропривод. На выходе, соединяясь, получается дистиллированная вода. Дистиллированная вода является абсолютно экологически чистым продуктом, не оказывающим вредных эффектов на окружающую среду.

Реализация и исполнение

Возможности для использования водородных двигателей не ограничены, устанавливать их можно как в автомобили, так и в корабли.

Несмотря на то, что сгорание водорода несколько легче внедрить в автобусы (из-за более крупных размеров моторного отсека, составляющего меньшую часть от общего размера, более низких рабочих скоростей (при городском использовании), так же автобусы могут размещать водород, хранящийся на крыше), более привлекательным выглядит вариант установки такой системы в легковой автомобиль. Отличный запас хода, наряду с отсутствием вредных выбросов, что может быть лучше?

Рассмотрим возможности реализации. Прямой впрыск в цилиндр, по определению, представляет собой разумную концепцию образования смеси, поскольку он, по сути, исключает возможность обратного воспламенения, поскольку воздушно-топливная смесь образуется в цилиндре после закрытия впускного клапана. Прямой впрыск в цилиндр в водородном двигателе может осуществляться двумя способами: прямым впрыском в цилиндр высокого давления (HPDI) и прямым впрыском в цилиндр низкого давления (LPDI). Правильно спроектированная система LPDI облегчает впрыск водорода на ранней стадии такта сжатия и, следовательно, существует более высокая возможность для лучшего смешивания водорода и воздуха. В системе HPDI давление настолько велико, что водородное топливо можно впрыскивать непосредственно в камеру сгорания даже во время такта сжатия. Эффективная система HPDI предотвращает возгорание во впускном коллекторе и самовоспламенение во время сгорания и, таким образом, позволяет достичь контролируемого сгорания.

Проблемы

Несмотря на относительную простоту реализации и внушительные возможности для использования, водород в качестве топлива для двигателя обладает рядом значительных недостатков, из-за которых рентабельность реализации данного топлива ставится под вопрос.

Самая серьезная проблема заключается в том, что водород находится в топливном баке транспортного средства, в связи с этим, безопасность должна

быть на уровень выше той, что представлена у аналогичных автомобилей на бензине (так как водород в 10 раз горючее, чем бензин).

Также, для создания сети водородных заправок требуются внушительные средства (около 2 млн. долл. на одну среднюю заправку), помимо этого, довольно дорога сама доставка водорода на заправочные станции, так как оборудование всех АЗС установками по выработке водорода приведет к дополнительным нерентабельным вложениям.

Ещё одна проблема в водородных двигателях – это «обратная вспышка», то есть, по сути, предварительное воспламенение H_2 , сталкивающегося с горячими поверхностями его прохождения.

Нельзя не учесть тот факт, что водородный автомобиль тяжёлый из-за сложной конструкции: много топливных ячеек, аккумулятор, электропреобразователь, большие баллоны для водорода, где давление целых 700 атм. В электромобиле, к примеру, всё проще – требуется только место под большой АКБ.

Так же, серьёзным минусом является более низкая плотность энергии при давлениях, подходящих для поршневых цилиндров, рабочий объем должен быть в два-три раза больше, чем для бензиновых двигателей, что вызывает проблемы с пространством в моторных отсеках легковых автомобилей.

Итоги

Таким образом, несмотря на все недостатки, использование водорода в качестве топлива все же имеет право на существование. Двигатели внутреннего сгорания, работающие на водороде, в среднем, примерно на 20% эффективнее сопоставимых бензиновых двигателей, не говоря о гибридной установке, которая обеспечивает прирост производительности до 50%. Тепловой КПД двигателя можно повысить за счет увеличения степени сжатия или удельной теплоемкости. В водородных двигателях оба отношения выше, чем в сопоставимых бензиновых двигателях, из-за более низкой температуры самовоспламенения водорода и его способности гореть в обедненных смесях.

Водородный автомобиль считается самым не засоряющим окружающую среду транспортом наряду с электрокарами. Заправка авто на водородном топливе занимает считанные минуты, а «горючего» хватит на 400 км и более. А баллон водорода после использования оставляет после себя полведра чистой воды.

Литература

1. Водород. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Водород> – Дата доступа: 20.10.2020
2. Водород. [Электронный ресурс] URL: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-hydrogen-generation-technologies/hydrogen-generation-by-water-electrolysis> – Date of access: 20.10.2020.
3. Устройство водородного двигателя. [Электронный ресурс] URL: <https://www.popularmechanics.com/cars/car-technology/a25633143/how-hydrogen-engines-work/> – Date of access: 20.10.2020.

УДК 004.932.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ВИДЕОКАРТ

Сакель Б.В., Жуковец М.Р.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Видеокарта (графическая плата, графическая карта, графический ускоритель) – это устройство, которое способствует выводу на экран всех действий и процессов, которые происходят на компьютере. Видеокарта преобразует данные компьютера в видеосигнал и передает на монитор. Видеокарте необходимо сформировать сигнал, который отображается на мониторе в определенную область памяти, в которой сохраняются данные об изображении и сигналы синхронизации, преобразовав их в горизонтальную, она же строчная, и вертикальную кадровую, развертки. Эволюция современных видеокарт начиналась от первых персональных компьютеров, где монитором служили самые обычные электроннолучевые трубки, до мощных графических проекторов. На этом пути произошла смена нескольких поколений и стандартов видеокарт. Один из первых графических адаптеров для IBM PC стал MDA (Monochrome Display Adapter) в 1981 году. На сегодняшний день под графическим адаптером понимают устройство с графическим процессором, занимающийся формированием графического образа, таким образом, он частично может снимать нагрузку с центрального процессора. Например, фреймворк OpenCL предполагает использование вычислительных возможностей графического процессора. Основными элементами современной видеокарты являются: графический процессор, видеоконтроллер, видеопамять, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), видео-ПЗУ и система охлаждения. Графический процессор производит расчеты выводимого изображения и выполняет расчеты для обработки команд трехмерной графики, тем самым снижая нагрузку с центрального процессора. По сложности, графические процессоры последнего поколения не уступают, а зачастую, превосходят центральный процессор компьютера.

Видеоконтроллер занимается формированием изображения в видеопамяти и отдает команды RAMDAC для формирования сигналов развертки для монитора и обрабатывает запросы центрального процессора. В нем выделяют: контроллер внешней шины данных (PCI или AGP), контроллер внутренней шины данных и контроллер видеопамяти. Современные графические адаптеры имеют от двух видеоконтроллеров, которые работают автономно и управляют одновременно одним или несколькими дисплеями.

Видеопамть является кадровым буфером, в котором храниться изображение. Графический процессор генерирует, постоянно изменяет и выводит на экран. Видеопамть сохраняет промежуточные элементы изображения, которые не видны на экране. Они различаются по скорости доступа и рабочей частоте. Современные видеокарты комплектуются памятью типа DDR, DDR2, GDDR3, GDDR4 и GDDR5.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП, RAMDAC) занимается преобразованием изображения, которое формируется видеоконтроллером, по

уровням интенсивности цвета, которые подаются на аналоговый монитор. Диапазон цветности изображения определяется только параметрами ЦАП. Основная часть включает в себя четыре основных блока, из них три цифроаналоговых преобразователя, по одному на каждый цветовой канал (красный, зелёный, синий, RGB), и SRAM для хранения данных о гамма-коррекции.

Видео-ПЗУ (Video ROM) является постоянно запоминающим устройством, в котором хранятся видео-BIOS, экранные шрифты, служебные таблицы. ПЗУ не используется видеоконтроллером напрямую, а только по команде от центрального процессора.

Система охлаждения сохраняет оптимальный температурный режим видеопроцессора и видеопамяти.

На сегодняшний день представлено два основных типа видеокарт: интегрированные и дискретные. Интегрированные, они же встроенные, являются важной частью главного процессора или же материнской платы, поскольку являются встроенными в них. Наличие интегрированного видео снижает себестоимость и энергопотребление компьютера, но, к сожалению, такие видеокарты обладают пределом производительности. Основным их минусом можно считать отсутствие собственной видеопамяти, поэтому им приходится использовать ОЗУ компьютера. Отсутствие собственной системы охлаждения помогает сэкономить место внутри системного блока, что является одним из важных критериев ноутбуков и нетбуков, в которых необходимо совместить высокую мощность, производительность и малые габариты.

Дискретная видеокарта – это отдельная плата, которая устанавливается в специальный слот (PCI Expressx16) и содержит в себе всё необходимое для полноценной работы, благодаря этому есть возможность увеличивать производительность компьютера для быстро меняющихся запросов пользователя, например, для использования игр с высоким уровнем графики, или при работе с высоко ёмкими графическими приложениями. Это достигается за счет собственной видеопамяти. К главным недостаткам можно отнести дороговизну, высокое потребление электроэнергии, что является принципиально важным для ноутбуков.

Основные характеристики видеокарт: интерфейс служит для того чтобы передавать данные между 3D-ускорителем и центральным процессором. На сегодняшний день есть шина PCI Express (PCI-E) различных версий. Ранее использовался более старый интерфейс AGP. В физическом плане реализован в виде слота на материнской плате компьютера, куда устанавливается и дискретный видеоадаптер. Видеокарты AGP и PCI-E несовместимы, так как слоты на материнской плате для установки имеют разные размеры, которые исключают ошибочную установку другой видеокарты. Тем не менее, разные версии интерфейса PCI Express совместимы между собой, каждая последующая версия интерфейса имеет в два раза больше пропускную способность. Рассмотрим ситуацию, когда видеоадаптер имеет интерфейс PCI-E 2.0, а установлен он в слот PCI-E 1.0. В этом случае он будет работать как PCI-E 1.0.

Тактовая частота видеопроцессора очень сильно влияет на производительность видеоадаптера, чем она выше, тем быстрее видеопроцессор работает и больше тепловыделение. Увеличение рабочей частоты GPU – это один из способов разгона видеокарты. Но нужно учитывать, что сравнивать напрямую разные модели видеокарт по данному параметру нельзя, так как это имеет смысл только для моделей, которые построены на одном чипе, в противном случае в дело вмешивается архитектура чипа. Частота видеопамати измеряется в мегагерцах. Чем выше частота, тем быстрее работает подсистема памяти.

Объем видеопамати – это показатель, сколько памяти установлено на плате и доступно для хранения данных. Объем видеопамати измеряется в мегабайтах или гигабайтах. Можно догадаться, что чем больше объем, тем лучше, но на самом деле не все так просто, так как есть предел, после которого последующее увеличение объема памяти не приведет к увеличению скорости работы. Это можно объяснить тем, что всегда есть объем данных, который требуется для работы. В каждый момент он разный и зависит от используемых программ и настроек. В случае, когда объем памяти установленный в 3D-ускорителе увеличивает объем данных, которые необходимы для работы, то последующее увеличение объема памяти не приведет к ускорению работы.

Тип видеопамати: на данный момент используются разные типы оперативной памяти, которые применяются в видеокартах. В современных видеокартах может применяться DDR или же GDDR. Чем более современный тип памяти, тем выше скорость ее работы. Самая быстрая на сегодняшний день это GDDR5, но она и самая дорогая, поэтому применяется в видеокартах верхнего ценового сегмента.

Ширина шины памяти влияет на пропускную способность памяти и, следовательно, на общую производительность видеокарты. Измеряется ширина шины памяти числом бит данных передаваемых за один цикл. Чем ширина шины памяти выше, тем скорость работы лучше. В очень дешевых видеокартах ширина шины обычно 64 или 128 бит, а в топовых 256 бит и выше.

Версия DirectX – интерфейс программирования приложений, обеспечивающий взаимодействие программ с железом компьютера и активно используется при создании компьютерных игр. В зависимости от версии DirectX поддерживаемой видеокартой, будут доступны различные режимы.

Для конкретного сравнения использовали две современные видеокарты среднего ценового сегмента: Radeon RX 570 и GeForce GTX 1650.

Место в рейтинге производительности: 144 против 120.

Частота ядра: 1168 МГц против 1485 МГц.

Частота в режиме Boost: 1244 МГц против 1665 МГц.

Количество транзисторов: 5 700 млн. против 4 700 млн.

Технологический процесс: 14 нм против 12 нм.

Интерфейс: PCIe 3.0 x16 и PCIe 3.0 x16.

Тип памяти: GDDR 5 и GDDR 5.

Объем памяти: 8 Гб против 4 Гб.

Ширина шины: 256 бит против 128 бит.

Энергопотребление: 120 Вт против 75 Вт.

Общую производительность в тестах по результатам бенчмарк по 100 бальной шкале (100 баллов – это самая быстрая на данный момент видеокарта) видеокарты получили следующие: Radeon RX 570 набрала 28,38, GeForce GTX 1650 получил 31,77 балла. Это на 11,9% больше, чем RX 570.

Преимущества AMD Radeon RX 570:

- Шире шина памяти (256 бит против 128 бит);
- Преимущества NVIDIA GeForce GTX 1650:
- На 11.9% быстрее в синтетических тестах;
- Более тонкий техпроцесс (12 нм против 14 нм);
- Меньше энергопотребление (75 Вт против 120 Вт);

Исходя из результатов тестов, видеокарта NVIDIA GeForce GTX 1650 оказалась эффективнее видеокарты AMD Radeon RX 570.

Литература

1. Гвоздева, В.А. Информатика, автоматизированные информационные технологии и системы: Учебник / В.А. Гвоздева. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА. – М, 2013. – 544 с.
2. Кузнецов, Е.Ю. Персональные компьютеры и программируемые микрокалькуляторы: учеб. пособие для ВТУЗов / Е.Ю. Кузнецов, Осман В.М. – М.: Высш. шк. – 1991 г. – 159 с.
3. Румянцева, Е.Л. Информационные технологии: Учебное пособие / Е.Л. Румянцева, В.В. Слюсарь; Под ред. Л.Г. Гагарина. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 256 с.

УДК 621.316.72

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ НА КУХНЕ**

Ясевич В.О.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А

В наше время мы не представляем кухню без огромного количества бытовой техники. Электроприборы существенно могут облегчить повседневную работу, а также чрезмерно облегчить процесс готовки еды. А есть такая техника, без которой просто нереально обойтись в повседневной жизни. Каждая хозяйка хочет увидеть свою кухню функционирующей, следовательно, каждый элемент в ней должен быть хорошо обдуман. Когда мы подбираем кухонные электроприборы, опираемся на работу, которую они будут делать на кухне.

Электроприборы можно символически разбить на несколько категорий:

1. Техника, которая необходима. Здесь техника, без которой мы не можем вообразить современную кухню.
2. Техника, которая для дополнения. Эта техника покупается постепенно, но о ней следует подумать после покупки необходимой техники. Благодаря этим электроприборам, можно в большей степени упростить и оптимизировать готовку.
3. Приборы, приобретенные по желанию. Это не особенно нужные приборы, но они могут быть хорошим подарком для кого то или применялись бы периодически.
4. Нежелательные предметы. Их наличие скорее загромождает место, чем добавляет ему функциональное назначение.

Самая распространенная электрическая техника на кухне: плиты, чайники, холодильники, микроволновки

Плита

Принцип работы: ток, который проходит через ТЭН, греется до температуры, которая задана. Для регулирования температуры на передней части панели размещены регуляторы – они бывают электронного или механического типа. Здесь же на панели установлены два индикатора: один, сообщает о включении духовки, а второй – о включении устройства в сеть.

Устройство всех плит (неважно какая модель) почти аналогичное, просто у любой плиты есть свои особенности. Это устройство обычно является смешанным электрическим прибором, для приготовления пищи.

Плита состоит из: варочной поверхности с конфорками, духового шкафа, нижнего ящика для хранения посуды и протвинеи (рис. 1).

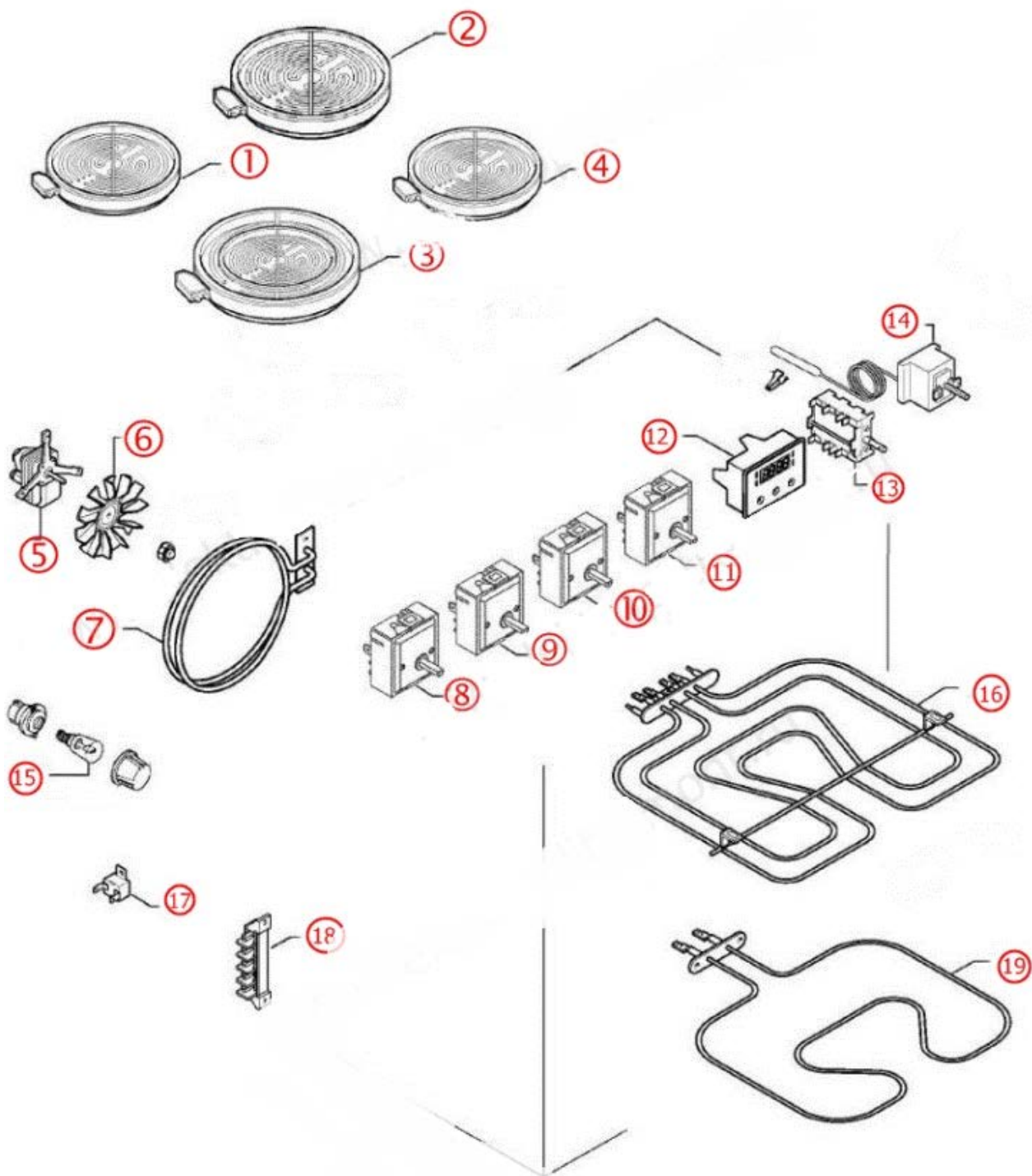


Рисунок 1 – Устройство электроплиты:

1, 2, 4 – конфорки с одной зоной нагрева (с одной спиралью); 3 – конфорка с двумя зонами нагрева (двухконтурная конфорка); 5 – электродвигатель вентилятора конвекции; 6 – крыльчатка вентилятора конвекции; 7 – конвекционный тэн; 8 – двухпозиционный переключатель; 9, 10, 11 – регуляторы мощности конфорок с одной зоной нагрева (1, 2, 4); 12 – электронный программатор управления духовкой; 13 – переключатель режимов работы духового шкафа; 14 – регулятор температуры нагрева духовки с датчиком (в данном случае – механический термостат); 15 – лампа освещения духовой камеры; 16 – верхний тэн с грилем; 17 – термический предохранитель; 18 – клеммная колодка; 19 – нижний тэн духовки.

Электрочайник

Принцип действия: ток поступает в нагревательный элемент. Сопротивление элемента преобразовывает электрическую энергию в тепло. Если сказать простыми словами, когда электричество поступает в нагреватель, он нагревается. Оттого что он в прямом контакте с водой (холодной), тепло переходит в воду и быстро нагревает её (рис. 2).

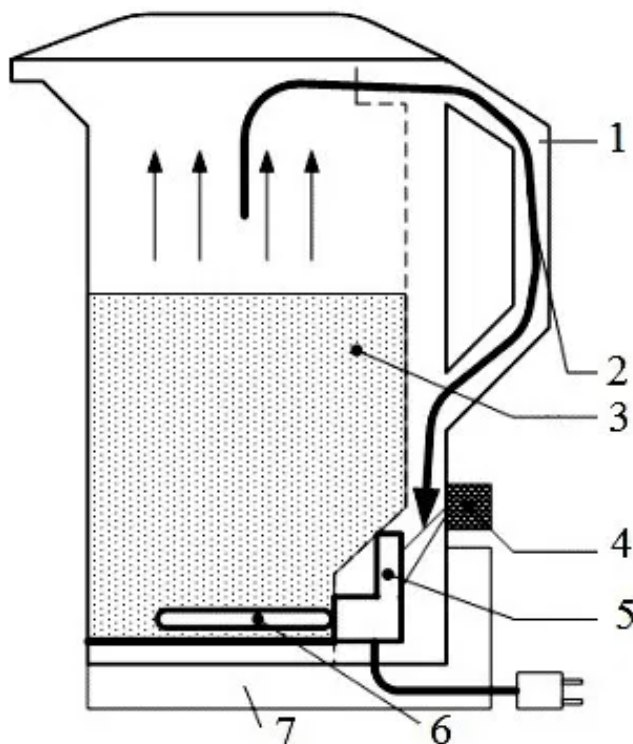


Рисунок 2 – Устройство электрочайника:

1 – канал; 2 – пар; 3 – вода; 4 – кнопка выключателя; 5 – автоматический выключатель; 6 – нагреватель; 7 – подставка

Холодильник

Принцип действия сформирован на таком компоненте, как фреон (хладагент). Этот компонент за короткое время изменяет своё состояние и охлаждает продукты ($t_{\text{кип}} = -29^{\circ}\text{C}$ фреона). Фреон перемещается по холодильной системе при помощи компрессора. Затем после компрессора хладагент попадает в конденсатор. Из конденсатора фреон попадает в капиллярную трубку, где его давление снижается. Затем хладагент попадает в испаритель. Когда давление фреона становится низким, он закипает, и в результате чего, образуется пар. При парообразующем процессе фреон отнимает тепло от испарителя, благодаря этому возникает охлаждение внутреннего объёма холодильной камеры. После холодильный фреон опять поступает в компрессор. Цикл будет продолжаться, пока не сработает терморегулятор и не прекратит работу компрессора (рис. 3)

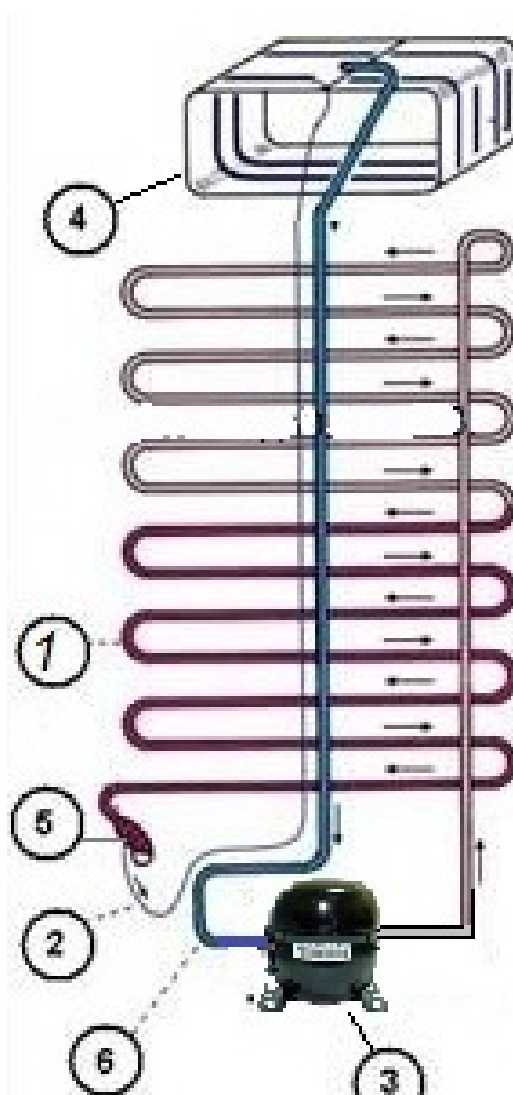


Рисунок 3 – Устройство холодильника:

1 – конденсатор; 2 – капиллярная трубка; 3 – мотор-компрессор; 4 – испаритель;
5 – фильтр-осушитель; 6 – обратная трубка

Микроволновка

Принцип работы: В печи протекает диэлектрический нагрев веществ, состоящий из полярных молекул. Электрическая компонента электромагнитных волн учащает движение молекул, имеющих дипольный момент, а межмолекулярное трение вызывает поглощение электромагнитного излучения и повышает температуру вещества. Стандартные модели печей работают при частоте $f=2450$ МГц.



Рисунок 4 – Устройство печи СВЧ

Микроволновка, с механическим управлением, сенсорной панелью, пультом, гибридным электронным контролем, включает в себя однотипные функциональные блоки (рис. 4):

- блок генерации печи излучения, магнетрон и волноводы;
- система изменения напряжения, главный модуль – высоковольтный трансформатор;
- средства контроля, содержащие группы датчиков;
- система второстепенной защиты;
- управляющая схема микроволновки.

Заключение

На основании можно сделать следующий вывод:

Электроприборы на кухне предназначены для облегчения труда и жизни человека. Техника имеет классификации, по значимости:

1. Техника, без которой обойтись невозможно.
2. Техника, которую иметь желательно.
3. Техника, без которой обойтись вполне возможно.

В данной работе были рассмотрены принципы работы и устройства стандартных электроприборов, применяемых на кухне.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://electricalschool.info> – Дата доступа: 09.10.2020
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://class-fizika.ru> – Дата доступа: 09.10.2020

УДК 621.391.823

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Барташевич Г.А., Ермакова А.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Микропроцессор – это схема интегрального типа, сформированная на маленьком кристалле кремния. В микропроцессорах применяется именно кремний в силу его полупроводников свойств: у него проводимость больше, чем у диэлектриков, но меньше, чем у металлов. Он может выполнять роль изолятора и препятствовать движению электрических зарядов, так и роль проводника – тогда заряды свободно проходят через него. Проводимость кремния можно повышать или понижать за счет добавления различных примесей.

Микропроцессор состоит из миллионов транзисторов, которые соединены между собой почти незаметными проводниками из алюминия или меди. Таким образом формируются внутренние шины. В результате микропроцессор выполняет множество функций – от математических и логических операций до управления работой других микросхем и всего компьютера.

Эволюция микропроцессоров

Эволюция микропроцессоров прошла долгий путь с начала 70-х по наше время. Этот путь начался с 1969 года, когда, еще на тот момент, молодая компания Intel начала разработку первого микропроцессора по заказу японской фирмы производителя калькуляторов Busicom. Так как на тот момент запоминающие устройства на магнитных сердечниках перестали быть актуальными. Busicom заказали разработку микросхем для новейших калькуляторов. Тогда микросхемы еще делали под заказ для определенной продукции. У Intel появилась гениальная идея – универсальный чип, который можно программировать под разные варианты устройств. Таким чипом оказался Intel 4004 (рис. 1) с параметрами: частота вращения 108 кГц, 2300 транзисторов в процессорном ядре, толщина которых 10 микрон. Этот микропроцессор не подходил для работы с ПК, так как 4 бита на 1 такт очень мало. В октябре 1970 года презентовали новое вычислительное микро-устройство 4004. Уже потом годами позже стали употреблять термин «микропроцессор».

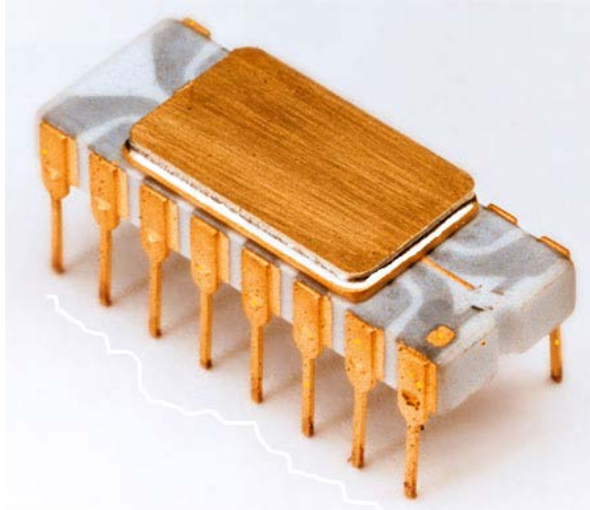


Рисунок 1 – Intel 4004

При разработке чипа специалисты компании предусмотрели практичность систем i4004. Это заключалось в семействе БИС, в которое состояло из ОЗУ 4002, ПЗУ 4001, регистр сдвига 4003 и еще пара дополнительных микросхем.

Популярность изобретения стало толчком для разработки следующего 8-ми микро устройства разрядного 8008. Его технические характеристики: 3,5 тысячи транзисторов, 16 Кбайт памяти, одно уровневую систему прерываний, и выполнение около 60 тысяч операций в секунду, частота работы 800 кГц при цикле в 12,5 мкс. Микропроцессор способен был выполнять 65 команд. Хотя, как говорилось ранее, специалисты Intel разрабатывали аппаратные средства, рассчитанные на совместное использование, системы команд были не совместимы микро устройств 4004 и 8008.

Далее на протяжении десяти лет компания модернизировала свою последнюю разработку. Они выпустили около 5-ти новых моделей микропроцессоров. Например, 8-ми разрядный МП 8080, совместимый с МП 8008. Так же в гонку по разработке МП вошли такие компании, как Zilog, Motorola, MOS Technology и другие. Их микропроцессоры не отличались особыми характеристиками, однако конкуренция привела к снижению цен.

В 1981 году стали появляться первые 32-разрядные микропроцессоры Focus от Hewlett Packard и WE32000 от AT&T. Другие производители старались не отставать и с 1983 года стали выпускаться МП NS32032 от National Semiconductor, NCR/32 от National Cash Register, MC68020 от Motorola, T414 от Inmos, 80386 от Intel, Z80000 от Zilog.

Как можно было заметить, на рынке микропроцессоров уже было достаточно производителей, однако в начале нового тысячелетия компания Intel стала и остается лидером в области высоких технологий компьютерной техники и не только.

В ноябре 2000 года компания Intel презентовала 32-разрядный МП Pentium 4 (рис. 2) с такими характеристиками, как тактовая частота 1,5 ГГц, количество транзисторов 42 000 000, техпроцесс 180 нм. Процессор мог использоваться в рабочих станциях для обработки видео. Все думали, что 2000 год был концом эпохи, так как появились 64-разрядные серверные процессоры Itanium с тактовой частотой 1 ГГц, количеством транзисторов 220 000 000, техпроцессом 130 нм. Выпуск нового МП опровергнул это предположение. В нем оставалась архитектура, которая характерна для 32-разрядных МП от компании Intel, прежний набор регистров и способов адресации, работает с базовой системой команд и известными вариантами реализации прерываний и исключений.



Рисунок 2 – Микропроцессор Pentium 4

В 2007 году представили новую линейку МП Core 2 Quad с такими параметрами, как тактовая частота 2,66 ГГц, количеством транзисторов 582 000 000, техпроцессом 65 нм это первый 4-ядерный процессор для домашних ПК.

В 2011 году появился микропроцессор по техническим параметрам приближенный к МП сегодняшнего времени – Core i7 второго поколения. Тактовая частота его 3 ГГц, количество транзисторов около 1 000 000 000, техпроцесс 32 нм.

В 2017 году Intel представила Intel Core i9 (рисунок 3). Модельный ряд был представлен как решение для высокопроизводительных ПК. Максимальная тактовая частота 5,3 ГГц, 8 ядер, количество транзисторов около 19 200 000 000, техпроцесс 14 нм.



Рисунок 3 – Микропроцессор Intel Core i9

Также в 2020 году компания представила процессоры 11-го поколения - Rocket Lake для настольных компьютеров и Tiger Lake для ноутбуков. В них будут совсем незначительные изменения относительно предыдущих моделей:

техпроцесс будет 14 нм, тактовая частота до 5,3 ГГц, но количество ядер осталось прежним и равным 8.

Ассортимент микропроцессоров не ограничивается рассмотренными нами выше моделями. Есть так же фирмы, идущие в ногу с компанией Intel. Например, AMD, выпустившая в 2020 году свой мощнейший процессор Ryzen threadripper 2990wx с 32 ядрами и 64 потоками (рисунок 4). Техпроцесс 12 нм, тактовая частота в базовом режиме 3 ГГц, максимальная 4 ГГц, количество транзисторов 19 200 000 000. Эти характеристики делают его самым производительным процессором на рынке и доказывают, что фирма AMD является одной из ведущих фирм по производству процессоров.



Рисунок 4 – Микропроцессор Ryzen threadripper 2990wx

Заключение

Проще говоря, микропроцессор – это маленький компьютер. Он содержит блоки управления, обрабатывающий блок и у него есть встроенная память. Благодаря им он может производить все необходимые манипуляции с информацией в автономном режиме. Наиболее широкое распространение микропроцессоры получили в производстве, там, где управление заключается в исполнении ограниченного количества операций или команд.

Микропроцессоры незаменимы в современной технике. Например, те же самые смартфоны. Процессор выполняет роль «сердца» в них. Осуществляет миллионы операций, упрощая тем самым жизнь людей.

Производство и усовершенствование микропроцессоров не стоит на месте. Современные технологии с каждым днем упрощают работу человека с компьютером, давая ему больше возможностей для работы.

Литература

1. Популярная электроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://scsiexplorer.com.ua>. – Дата доступа: 09.10.2020.

2. AMD [Электронный ресурс]. – Режим доступа
<https://www.amd.com/ru/products/cpu/amd-ryzen-threadripper-2990wx>. – Дата доступа:
10.10.2020.

3. Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа
<https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/products/processors/core/i9-processors.html> – Дата
доступа: 09.05.2020.

УДК 621.3

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ШИФРОВАЛЬНЫЕ МАШИНКИ
ВРЕМЁН ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ**

Коротченков Е.С., Гук Т.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Данная научно-познавательная работа направлена на ознакомление и изучение принципа работы шифровальных машин времен Второй мировой войны. Период между двумя мировыми войнами характеризуется, помимо всего прочего, интенсивными работами по разработке и последующему внедрению и использованию шифровальных машин всевозможных конструкций.

Немецко-фашистские войска в боевых действиях на суше и на море до определенного момента вполне успешно применяли машину «Энигма» («Enigme»). Японцы в ходе войны на Тихом океане использовали шифровальную машину, прозванную американцами «Пурпур». Сами американцы шифровали свои сообщения с помощью машины «SIGABA», а англичане применяли устройство под названием «Type X». СССР разработал шифровальную машину с роторным шифратором К-37 «Кристалл», а затем, в 1942 году на смену Кристаллу пришла не менее надёжная машина – М-101 «Изумруд». Эти машины оказали серьёзное влияние на ход и результат многих боевых операций.

Из них, как минимум для «SIGABA» и «Type X» «Энигма» является прототипом. «Энигма» – портативное устройство 20-х годов выпуска снаружи выглядело как чемодан, подобно обычным печатным машинкам того времени. Помимо стандартной клавиатуры и валиков,двигающих лист бумаги обычной пишущей машинки, в «Энигма» значительную часть пространства занимали электронная и механическая часть. Шифровальный механизм состоял из роторов шириной около 1 сантиметра, с вытесненными по их окружности буквами латинского алфавита; соответственно, их было 26, и они соответствовали 26 электрическим контактам. Контакты с обеих сторон барабана соединялись попарно случайным образом 26 проводами (перепайками), создававшими замену символов. Эти «случайно» выполненные соединения в каждом из роторов являлись долговременным секретным криптографическим ключом, возможность определения которого противником должна быть исключена. Роторы были связаны шестеренками. При нажатии клавиши один из роторов приходил в движение, другие тоже начинали вращаться, но с разными скоростями. Шифрование каждой буквы осуществлялась с помощью электрических импульсов, которые, проходя подряд через все роторы, отражались от рефлектора и выходили через зигзагообразные промежутки, получаемые разными положениями роторов по отношению друг к другу. Роторы касались друг друга подпружиненными контактами, которые и обеспечивали прохождение электрического тока сквозь весь пакет (существовали модели «Энигма» как с тремя, так и с четырьмя роторами). Результат шифрования фиксировался лампочкой, подсвечивающей соответствующую букву (рисунок 1) и записывался вручную на лист бумаги.

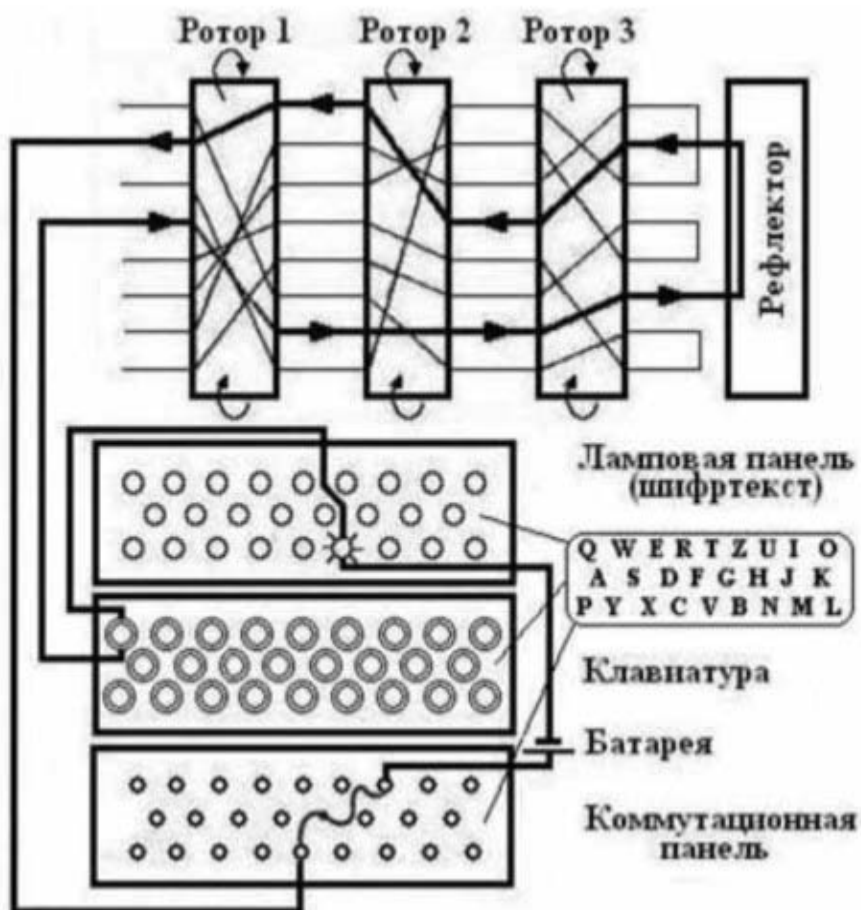


Рисунок 1 – Блок-схема 3-роторного» лампового шифратора «Энигма»

Ключ к шифру на определенный период, определялся первоначальным положением каждого ротора, которое легко менялось. Перед началом работы роторы поворачивались так, чтобы устанавливалось выбранное кодовое слово (пароль) из 3-х букв, а при нажатии клавиши и кодировании очередного символа правый ротор поворачивался на один шаг. После того как он делал полный оборот, на один шаг поворачивался следующий ротор – как в электросчетчике. Следовательно, получался ключ заведомо более длинный, чем текст сообщения. Такой механизм обеспечивал миллионы вариантов шифра простой замены, определяемого текущим положением роторов. Для затруднения дешифрования роторы периодически переставлялись местами или заменялись на другие роторы, имевшие отличающиеся перепайки внутренних соединений. Последующие усовершенствования машины состояли в смене линейного вращения роторов на более хаотичное вращение, и в увеличении их числа сначала до 4, а потом до 5, 6, 8-ми и более.

Минусов у такого способа шифрования было несколько, и одним из главных была невозможность шифрования какого-либо символа через самого себя.

Так же, как и «Энигма», английский аналог – «Туре х» был роторной машиной. Но, в отличие от «Энигма», он состоял из пяти роторов, что на два-три больше чем в Энигме. Так же, как и в немецкой машинке, в «Туре х» было возможным отправлять сигнал через роторы дважды, используя «отражатель» на

конце ротора. Так же, для повышения надёжности машины, электрический контакт был удвоен.

Из пяти роторов, как правило, первые два были фиксированными, что позволяло обеспечить дополнительное шифрование механизмов поворота ротора. Их назначение было подобно блокам в Энигме, они способны были осуществлять дополнительную рандомизацию с возможностью её регулирования, именно оттуда пошёл принцип «Random».

В отличие от «Энигмы» сообщения «Type x» нужно было напечатать, а зашифровка и передача происходили автоматически всего за один шаг, тогда как сообщения «Энигма» было необходимо написать, зашифровать, передать, получить, расшифровать и записать снова.

В японской шифровальной машине «PURPLE» вместо роторов применялись телефонные коммутаторы. Аппарат состоял из сложной хитроумной комбинации кабелей и контактной панели, что позволяло создать миллионы шифровальных комбинаций. При шифровании сообщения сначала нужно было установить выбранный ключ, а затем, с помощью клавиатуры электрической пишущей машинки ввести в шифровальную машину открытый текст. Текст обрабатывается различными электрическими и контактными устройствами, после чего на электрическом печатном устройстве распечатывалось уже закодированное сообщение.

Перед началом Второй мировой войны криптографические службы всех ведущих мировых держав были оснащены электромеханическими шифровальными машинами, которые имели относительно высокую для того времени скорость обработки информации, обеспечивали требуемую стойкость шифров и были весьма разнообразны. Одно время даже высказывалось мнение, что расшифровать криптограммы, создаваемые с помощью таких машин, невозможно. Однако в ходе войны это мнение было быстро опровергнуто.

Литература

1. Книга шифров. Тайная история шифров и их расшифровки / С. Сингх; – Астрель, 2007. – 72 с.
2. Страна Восходящего Солнца и ее шифровальные машины / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/385605/?fl=ru%2Cen>. – Дата доступа: 19.03.2019
3. Enigma Simulator v7.0/ [Электронный ресурс] – CIPHER MACHINES AND CRYPTOLOGY. Режим доступа: <http://users.telenet.be/d.rijmenants/en/enigmasim.htm>. – Дата доступа: 21.03.2019

УДК 681.584

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЛЕ ПО ИХ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Федюкова М.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Реле – коммутационное устройство (КУ), соединяющее или разъединяющее цепь электрической или электронной схемы при изменении входных величин тока.

Релейные элементы можно охарактеризовать параметрами, которые относятся к выходным и входным воздействиям:

- *Срабатывание* – минимальное значение воздействия на входе при таком его возрастании, что релейный элемент изменяет свое состояние и в это же время воздействует на выходе в соответствии с релейной характеристикой;
- *Отпускание* – минимальное значение воздействия на входе при таком его уменьшении, что релейный элемент возвращается к своему первоначальному состоянию.

По виду физических явлений, релейные элементы делятся на механические и электрические, а потом уже на бесконтактные и контактные.

Классифицируют как:

По виду физических явлений, используемых для действия:

- электромагнитные;
- магнитоэлектрические;
- ферродинамические;
- индукционные реле;
- ферромагнитные;
- магнитострикционные;
- электростатические;
- ионные;
- полупроводниковые;
- сегнетоэлектрические;
- пьезоэлектрические;
- мэмс-реле;
- фотоэлектрические;
- резонансные;
- тепловые.

По виду физических величин, на которые реагируют:

- *электрические;*
- *механические;*
- *тепловые;*
- *оптические;*
- *акустические;*
- *магнитные.*

По назначению делятся на:

- аварийные;

- контроля и управления.

От того как проклассифицировать реле, определяется его место применения: в машинах, станках, технике и вычислительных машинах, поездах и т.д. Конечно, наиболее частыми случаями употребления устройства являются, в качестве управления токами большой величины.

Литература

1. Чернобровов, Н.В. Релейная защита: учебное пособие для техникумов / Н.В. Чернобровов – М.: Энергия, 1974. – 680 с.
2. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем: учебник для вузов / А.М. Федосеев, М.А. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

УДК 621.313.13 – 133.32

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Протащик Е.В

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Энергосбережение – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливо-энергетических ресурсов.

На сегодняшний день энергосбережение – одна из самых актуальных проблем. Это связано с недостатком энергоресурсов и ростом стоимости их добычи, а так же экологических перепадов.

Понятие энергосбережения сводится к рациональному использованию энергоресурсов во всех сферах деятельности человека (промышленности, обиходе).

В промышленности используется ряд способов для эффективного использования энергоресурсов:

- модернизация оборудования
- применение энергосберегающих технологий
- уменьшение потерь электроэнергии в электроприемниках и системах электроснабжения
- регулирование режимов работы оборудования
- улучшение качества электроэнергии

В быту существует большое количество способов, благодаря которым происходит экономия тепла, воды, света. Рассмотрим используемые технологии в экономии света. В быту стала распространяться техника с использованием сенсоров:

- Датчики движения – реагируют на источник инфракрасного излучения и управляют светильниками в зависимости от его перемещения.
- Таймеры – выключатели, которые следят за тем, чтобы свет зажегся или гас в точно указанное (запрограммированное) время.
- Датчики освещенности (сумеречное реле) – устройства, которые управляют искусственным светом в зависимости от уровня естественной освещенности.
- Диммеры – устройство, предназначенное для изменения электрической мощности (регулятор мощности).

В заключении можно сказать, что, несомненно, энергосберегающие технологии, применяющиеся в современном мире, уменьшают энергопотребление в промышленности, быту и других сферах. Так же помогает экономить энергоресурсы нашей планеты.

Литература

1. Богуславский, Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха / В.И. Ливчак, В.П. Титов. – Минск: Инфра-М, Новое знание, 2013. – 288 с.
2. Богуславский, Л.Д. Экономика теплоснабжения и вентиляции: учебное пособие для вузов / Л.Д. Богуславский, А.А. Симонова, М.Ф. Митин. – М: Стройиздат, 1988. – 351 с.

3. Богуславский, Л.Д. Экономия электроэнергии, воды и теплоты в жилых зданиях: вопросы и ответы: справ. пособие / Л.Д. Богуславский, М.А. Винокур, Л.А. Воробьев. – М: Стройиздат, 1991. – 160 с.

УДК 621.313.13 – 133.32

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Торгоня А.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Асинхронный двигатель – это электрическая машина, которая преобразует электрическую энергию в механическую. Асинхронные двигатели применяются в транспортировке, производстве, горнодобывающей, нефтехимической, энергетической промышленности и т.п. Это все возможно благодаря их высокой надежности, простоте конструкции, высокой эффективности и высокой перегрузочной способности. Сравнив двигатели постоянного тока с асинхронными двигателями, мы увидим, что асинхронные двигатели прочнее, дешевле и не затратные в обслуживании.

Асинхронный двигатель устроен следующим образом:

1. **Неподвижная часть – статор**, собирается из листов стали. У статора есть пазы, в которые помещены обмотки. Их оси установлены на 120 градусов по отношению друг к другу.

2. **Подвижная часть – ротор**. Первый вариант ротора выглядит так - сердечник со стержнями из алюминия или специальной электротехнической стали, наглухо замкнутыми торцевыми кольцами, которую еще называют «беличьей клеткой». Второй вариант ротора состоит из трехфазной обмотки, в большинстве случаев соединенной «звездой».

3. **Остальные детали конструкции** – лапы, подшипники, вал, подшипниковые щиты, кожух вентилятора, крыльчатка и коробка выводов – которые обеспечивают охлаждение, вращение и защиту механизма от различных факторов.

Принцип действия асинхронного двигателя:

- При запуске двигателя, магнитное поле статора перекрещивается с контуром ротора и индуцирует электродвижущую силу.
- В короткое замкнутое роторе возникает переменный ток.
- 2-а магнитных поля (статора и ротора) формируют крутящий момент.
- Крутящийся ротор пытается «догнать» поле статора
- Когда частоты вращения магнитного поля статора и ротора идентичны, электромагнитные процессы в роторе гаснут и крутящий момент становится нулевым.
- Магнитное поле статора возбуждает контур ротора, который к данному моменту времени снова отстает.

Достоинства и недостатки асинхронных двигателей:

Достоинства:

- Простота в изготовлении.
- Дешевизна.
- Высокая надёжность в эксплуатации.
- Невысокие эксплуатационные затраты.
- Возможность включения в сеть без различных преобразователей

Недостатки:

- Маленький пусковой момент.
- Значительный пусковой ток.
- Нет возможности отрегулировать скорость при подключении к сети и ограничение предельной скорости частотой сети
- Зависимость электромагнитного момента от напряжения питающей сети
- Низкий коэффициент мощности.

Заключение

В заключении хочется сказать, что изобретение асинхронного электродвигателя было весомым вкладом в развитие промышленности, науки и сельского хозяйства в мире. В наше время трудно назвать отрасли техники и быта, где не использовались бы асинхронные двигатели. С уверенностью можно сказать, что с ними наша жизнь стала проще и более комфортной.

Литература

1. Архипцев, Ю.Ф. Асинхронные двигатели / Ю.Ф. Архипцев. – М: Энергия, 1986. – 96с.
2. Архипцев, Ю.Ф. Асинхронные двигатели / Ю.Ф. Архипцев. – М: Энергия, 1975. – 84с.
3. Радин, В.И. Электрические машины. Асинхронные машины / В.И. Радин [и др.] – Минск: Высшая школа, 1988. – 326 с.

УДК 621.313.13 – 133.32

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА С БЕСКОНТАКТНОЙ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цыганков Н.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Основная цель использования транспортных средств это перевозка людей и грузов. Новые реалии меняют наши представления о транспорте и его функциях. Электромобили получают возможность не только потреблять энергию из сети, но и транспортировать ее на расстоянии и передавать в сеть по модели V2G.

Количество электротранспорта увеличивается с каждым годом, не только частного, но также общественного и промышленного. В энергосистеме электротранспорт является потребителем энергии. Но современная энергетика эволюционирует, и на смену традиционной энергосистеме приходит, так называемый, Интернет энергии, сутью которого является передача энергии, построенная по принципу передачи информации в Интернете. В новой системе электротранспорт является не только потребителем, но и полноценным участником системы, способным передавать энергию обратно в сеть.

Основными причинами для перехода к новой модели энергосистемы следующие: во-первых, объекты существующей инфраструктуры устарели и требуют модернизации, но привлечение инвестиций при сохранении существующей структуры мощностей приведет к росту цен на энергию для потребителей; во-вторых, современные технологии, такие как IT, цифровое производство, электротранспорт, предъявляют требования к доступности, надежности, качеству электроэнергии; в-третьих, потребители электроэнергии могут стать, полноценными субъектами энергетике, потребляя и транспортируя энергию в сеть, благодаря таким технологиям вторичное использование энергии, методы регулирования нагрузки, новейшие накопители энергии (батареи)

Существует две основные концепции передачи энергии между электромобилями и сетью: от сети к электротранспорту – G2V; от электротранспорта в сеть – V2G.

В новой концепции Интернета энергии электротранспорт может выполнять функции перевозки пассажиров, генерации энергии и транспортировки энергии. Совмещение технологии V2G и преимуществ мобильности транспорта дает технологичный и удобный способ передачи энергии на расстоянии. Таким образом, электротранспорт или мобильный робот может быть заряжен от возобновляемых источников энергии, доехав до станции зарядки, отдать некоторое количество энергии в сеть или накопитель станции зарядки, энергию которых впоследствии может использовать другой потребитель. Является необходимым разработать дополнительные требования к накопителям электромобилей при работе по схеме V2G.

Главный принцип беспроводного заряда электротранспорта заключается в размещении в нижней части транспортного средства энергоприемника, который получает энергию индукционным способом от катушек, размещенных под дорожным полотном на определенном расстоянии друг от друга. Кроме задач

разработки технологий беспроводной передачи энергии электротранспорту во время движения существует задача обеспечения общения между автомобилями и инфраструктурой автодорог. В данный момент, главной целью является разработка электромобилей, не требующих присутствия пилота, а все решения принимает интеллектуальная система. Но для обеспечения безопасного движения необходимо взаимодействие отдельных единиц электромобиля друг с другом, а также с внешней инфраструктурой. Таким образом, нужна единая платформа, которая могла бы предоставить информационный обмен. Архитектура Интернета энергии, предоставляет для таких электромобилей платформу управления. Сервисы могут регулировать взаимодействие между автомобилем, станциями зарядки, другими дорожными объектами и остальными участниками дорожного движения. Также сервисы могут регулировать оплату за проезд и пополнение заряда. Другие сервисы могут отвечать за навигацию автомобиля и выбор оптимального маршрута, построенного не только для самого короткого пути, но и менее энергозатратного маршрута.

Литература

1. Княгин, В.Н. Цифровой переход в электроэнергетике России/ В.Н. Княгин, Д.В. Холкин // Проект Минэнерго России [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://in.minenergo.gov.ru/energynet/analytics/tsifrovoy-perekhod-v-elektroenergetike-rossii-ekspertno-analiticheskiy-doklad-pod-redaktsiey-v-n-knya/> – Дата доступа: 16.05.2020.
2. Парк электромобилей и гибридов в Китае превысил 1 млн машин // Газета Ведомости [Электронный ресурс]. – 2017.08.09./- <https://www.vedomosti.ru/auto/news/2017/08/09/728730-park-elektromobilei-v-kitae/> –Дата доступа: 16.05.2020.

УДК 004.02, 004.08, 616.02, 616.006.6, 616.24-002.5-036.3, 616.24-002-07
**НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В
СОВРЕМЕННОМ МИРЕ. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ОПЫТ
ЭКСПЛУАТАЦИИ. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПОСОБА
РАСПОЗНАВАНИЯ РАКА ЛЕГКИХ НА БОЛЕЕ РАННИХ СТАДИЯХ**

Лобиков С.А. Макович И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Нейронная сеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Этаким ребенок, который с каждым разом решает пример, делая значительно меньше ошибок.

В современном мире нейронные сети развиваются в экспоненциальной прогрессии. Появляются все новые виды нейронных сетей, и программ реализующих их. Они стали применяться чуть ли не везде. От распознавания букв на фотографии до игр на бирже и распознавания личностей на уличных камерах.

В данной работе рассмотрено применение нейронных сетей в медицине, а именно в флюорографии. Флюорография в Республике Беларусь проводится среди рабочего населения примерно раз в год, так сделано для профилактики туберкулеза. Однако с помощью флюорографии так же можно выявить рак легких (опухоли), а также воспалительные участки. Флюорография гораздо дешевле рентгеновского снимка, так как не нужно тратиться на рентгеновскую пленку, которая содержит частицы серебра. Многие эксперты говорят, что флюорографические снимки не эффективный способ для профилактики туберкулеза. За деньги, потраченные на снимки можно сделать гораздо больше анализов, которые будут намного точнее и дешевле. Однако если мы не откажемся от флюорографий, то следует их научить, с помощью сверхточных нейронных сетей, находить подозрительные участки.

Рак легких в Республике Беларусь занимает второе место по распространению среди онкологических заболеваний. Его успешно и практически гарантировано, можно вылечить только на первой стадии. Однако первые симптомы, которые помогают выявить рак легких, проявляются далеко не на первой стадии (опухоль диаметром до 3 см, и не выпускает метастазы). На ранней стадии рак легких можно практически всегда увидеть только с помощью компьютерной томографии. Флюорография же является специфическим методом обнаружения рака легких, так как картинка получается маленькой, что заметить на нем изменения и правильно оценить их крайне сложно. Результат обнаружения рака легких на начальных стадиях с помощью флюорографии зависит только от того, что увидит врач.

Литература

1. Шалоха, Е.Р. Нейронные сети / Е.Р. Шалоха // Материалы 73-й студенческой научно-практической конференции / Белорусский национальный технический университет, Факультет информационных технологий и робототехники. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 33-35.

2. Матусь, И.В. Нейронные сети / И.В. Матусь, Р.Н. Дождикова // Материалы Международной научно-технической конференции "Информационные технологии в технических, политических и социально-экономических системах" / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 181.

3. Нейронные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://future2day.ru/nejronnye-seti/> – Дата доступа: 19.05.2020

УДК 621.3

ДОМАШНЯЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Рабченя Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

Домашняя автоматизация («умный дом») – это комплекс устройств, который позволяет решать задачи в области безопасности, жизнеобеспечения, развлечения и связи. Домашняя автоматизация работает в автономном режиме, и вмешательство человека требуется только в экстренных случаях.

Данная технология включает в себя три уровня автоматизации, которые выполняют ряд задач:

- Верхний уровень – управление всей системой умного здания. Он включает в себя специальное программное обеспечение, с интуитивным интерфейсом для простоты использования. Состояние системы выводится на компьютер либо смартфон.
- Средний уровень – связующая часть между отдельными частями системы. В данный уровень входят различные пульта управления, коммутаторы, контроллеры.
- Нижний уровень - комплекс исполнительных устройств, способных фиксировать изменения показателей и сигнализирующих о данных изменениях среднему уровню.

Система домашней автоматизации предусматривает наличие трех типов устройств:

- Контроллер — это устройство управления, с помощью которого происходит связь всех частей системы в единое целое. Оно позволяет дистанционно управлять работой системы.
- Датчики — это устройства, которые предоставляют информацию о внешних условиях.
- Актуаторы — это исполнительные устройства, выполняющие команды.

Система «умный дом» выполняет следующие функции:

- управление всеми исполнительными устройствами с помощью единого пульта управления;
- климат-контроль – с помощью его можно дистанционно изменять температуру и влажность, как во всем здании, так и в отдельных комнатах;
- регулирование уровнем освещения в комнатах, зависящее от числа людей, находящихся в помещении, временем суток и установленным режимом.
- управление энергоснабжением – предназначенное для оптимизации и снижения расхода электроэнергии.
- обеспечение безопасности, предназначенное для предотвращения вторжения на территорию дома, а также информирования владельца о взломе;

Выбор системы управления умным домом:

В современных умных домах связь контроллера с остальными устройствами происходит через радиосигналы. Самыми распространенными протоколами связи являются Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave, ZigBee. Последние два являются специализированными протоколами. Главное преимущество данных видов связи – дистанционность.

В заключении можно сказать, что система домашней автоматизации значительно упрощает жизнь человека и повышает уровень жизни. Она имеет ряд плюсов, таких как безопасность, комфорт, гибкая система настроек установки, контроль над каждым процессом работы в доме, автоматизация любых электрических приборов в доме и простота использования. К минусам можно отнести высокую цену и необходимость бесперебойной работы системы.

Литература

1. Теория и технология систем управления. АСУТП электростанций: в 3 т. / редкол.: Ю.С. Тверской (гл. ред.) [и др.]. – Иваново, 2013. – 432 с.
2. Умный дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnoe-upravlenie-domom-umnyy-dom/viewer>. – Дата доступа: 09.05.2020

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Матыркин Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Шауро О.С.

В настоящее время воздействие электричества на окружающую среду – обсуждаемая тема в энергетике. Энергетические предприятия, работающие и производящие электричество, отрицательно влияют на окружающую среду, особенно на животных. Определим основные источники неблагоприятного влияния электричества и вдобавок мероприятия, принимаемые для устранения и уменьшения его пагубного воздействия на окружающую среду. Одной из основных проблем является уничтожение птиц электрическим током. Проблема состоит в том, что пути перелета птиц проходят в местах, где проходят высоковольтные линии электропередач. Птицы, не понимая, садятся на провода вблизи металлических опор, что приводит к поражению током. Из года в год гибель птиц от электричества становится более проблематичной. Счет идет уже на несколько сотен тысяч. Как правило, повреждение линий от птиц приводит к появлению чрезвычайных ситуаций. Из-за этого происходит обесточивание потребителей энергии, повреждается спецоборудование. Это приводит к большим убыткам не только для предприятий, но и для страны. На устранение поломок уходит много времени и расходов. В то же время открытые распределительные подстанции представляют большую угрозу для пернатых. Для лучшей эффективности выхода из этой ситуации, можно подчеркнуть следующие меры: оснащение опор, изоляторов специальными устройствами, которые не дают садиться птицам на высоковольтные линии электропередач и другое оборудование. Благо сейчас мы научились быстро и качественно производить защитное оборудование. И с каждым годом оно модернизируется. Появляется новое, которое по качеству и другим показателям ничем не уступает старым, даже в какой-то степени лучше и дешевле. Для защиты устанавливают специальные защитные колпаки. Также на каждой подстанции ограждают выводы силовых трансформаторов и другого оборудования распределительного устройства открытого типа. Еще один неблагоприятный источник – это трансформаторная подстанция, которая негативно сказывается на здоровье человека. Опыты ученых доказывают, что магнитное поле, создаваемое вблизи высоковольтных линий электропередач, отрицательно влияют на организм человека. Отрицательно влияет на нервную, сердечнососудистую, иммунную и эндокринную системы. Поэтому предлагают свести к минимальному присутствию людей около высоковольтных линий электропередач. Для этого в этих местах установлено ограждение, дополнительные таблички, запрещающие проход к территории, где высокое напряжение. Проход разрешен только специализированным специалистам и с соблюдением всех мер предосторожности. Когда проводятся ремонтные работы, для минимизации поражения человека электрическим током и действия электромагнитного поля используются специальные защитные комплексы, так называемые экранирующие устройства. Ко всему вышеперечисленному можно добавить

отрицательные источники влияния электричества на окружающую среду, такие как появление очагов пожара вследствие замыкания в электроустановках или на линиях электропередач. При обрыве провода на линии электропередач происходит возгорание, которое может привести к возникновению пожара, а в дальнейшем и к чрезвычайной ситуации. Вред окружающей среде может вызвать повреждение силового масляного трансформатора подстанции. При повреждении трансформаторное масло попадает в почву, а дальше и в грунтовые воды. Содержание трансформаторного масла в некоторых трансформаторах может достигать нескольких десятков тонн. При его разливе наносится большой вред окружающей среде.

В заключении можно сказать, что основным критерием предупреждением похожих случаев является своевременная проверка, устранение неполадок силового трансформатора и его защиты, а также расчистка лесополосы вдоль линий электропередач. Проведение регламентных мероприятий по обслуживанию и диагностике оборудования может спасти не только нас, но и окружающую среду от происшествий, связанных с электричеством.

Литература

1. Олешкевич, М.М. Нетрадиционные источники энергии: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» / М.М. Олешкевич. – Минск: БНТУ, 2016. – 204 с.
2. Возобновляемые источники энергии и энергосбережение: учебное пособие / О.И. Родькин [и др.]; под общ. Ред. С.П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – 160 с.
3. Кундас, С.П. Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С. Позняк, Л.В. Шенец. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 390 с.

УДК 537.2

МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Латушкин С.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сизиков С.В.

Молния – это электронный искровой разряд в атмосфере, возникающий во время грозы, проявляющийся яркой вспышкой света и сопровождающим ее громом. До сих пор эта красивая, но опасная магия природы не изучена до конца. Однако всем известна разрушительная сила разряда молнии. Поражение человека или животного молнией часто происходит на открытом воздухе, потому что электрический ток идет по кратчайшему пути «гроза-земля». Молния часто поражает деревья и трансформаторные установки на железнодорожных путях, вызывая их возгорание. Обычные удары молнии опасны для телевизионных и радио антенн на крышах и сетевого оборудования. Удар молнии не ограничивается одним лишь электрическим ударом. Он также обладает термическими и механическими силами разрушения. Ток в разряде молнии достигает 10-20 тысяч ампер (30000 градусов по Цельсию), поэтому мало кому удастся выжить после удара молнии. При прохождении через токоведущие части разряд молнии способен расплавить металл, который является основным материалом для проводов и электроустановок.

Природа молний

Чтобы лучше понять процесс защиты зданий и сооружений от молнии, необходимо понять природу этого явления. Существует множество теорий образования молний. Некоторые из них связаны с воздействием космических лучей на нашу атмосферу, другие связывают появление молнии с разностью потенциалов между землей и грозовой тучей, в результате чего в воздухе происходит своеобразный пробой, и мы видим искру. Однако до сих пор нет теории, полностью объясняющей весь процесс образования молнии.

Одна из самых распространенных теорий касается гипотез М.В. Ломоносова. Ломоносов считал, что причиной появления электрических разрядов в облаках является влияние постоянного электрического поля Земли. Как известно, заряд на нашей планете всегда был отрицательным. Земля имеет довольно значительный отрицательный электрический заряд. Сила электрического поля на поверхности зависит от заряда земли. Свободные заряды в воздухе движутся навстречу электрическому полю, и его плотность увеличивается в несколько миллиардов раз с удалением от поверхности. Земля вместе с зоной достаточной плотности свободного заряда, расположенной на расстоянии 80 км от поверхности, образует сферический конденсатор. Между пластинами которого находится диэлектрик – прослойка воздуха.

По своему происхождению грозовые тучи делятся на тепловые и фронтальные. Принцип тепловой грозы очень прост. В результате нагрева поверхности земли, раскаленный воздух поднимается. Когда эта масса попадает в низкотемпературную область атмосферы земли, пар начинает конденсироваться, что приводит к образованию грозовых облаков. Эти облака содержат множество мелких, положительно заряженных, капель.

Принцип формирования фронтальных облаков аналогичен появлению тепловой грозы. Разница в том, что горячий воздух поднимается вверх из-за столкновения с потоком холодного воздуха. В результате образуются вихри, попадающие в область низких температур, и поэтому процесс развития фронтальной бури идентичен появлению тепловой. Электрически заряженные капли в облаке, находящиеся между отрицательно заряженной землей и положительно заряженным слоем воздуха в верхних слоях атмосферы, начинают поляризоваться. Кроме того, заряды начинают переориентировать как в самом облаке, так и в атмосфере. Но в облаке загрузки распределяются неравномерно. Молния образуется в местах, где напряженность поля неравномерно распределенных зарядов достигает определенного значения. Начинается процесс ударной ионизации, появляются лавины электронов. Электрический разряд состоит из нескольких последовательных импульсов. Траекторию движения и место удара предсказать невозможно. Это зависит от поля земли и объектов, расположенных на земле. Известно, что если под облаком есть какая-либо конструкция, то молния будет двигаться к земле по кратчайшему пути. На основе многих исследований были выведены некоторые закономерности поведения молнии. Например, если под грозовой тучей находятся два объекта одинаковой высоты, разряд попадет на объект с наилучшим заземлением и проводимостью.

Повреждение вследствие попадания молнии. Удар молнии в здание может вызвать повреждение самого здания, травмы или смерть людей и материальный ущерб, включая выход из строя внутренних систем здания.

Повреждения и отказы могут произойти в непосредственной близости от здания и охватить прилегающую территорию (табл. 1).

Таблица 1 – Описание воздействия молнии на различные типы зданий (сооружений)

Тип здания (сооружения)	Воздействие молнии
Жилой дом	Короткое замыкание в электрических сетях, пожар и материальный ущерб. Повреждения обычно ограничиваются самим зданием (сооружением), подвергшимся воздействию молнии. Отказ электрического и электронного оборудования и инженерных сетей.
Театр Гостиница Школа	Повреждение электрического оборудования (например, электрического освещения), которое с большой вероятностью может привести к панике среди людей. Отказ пожарной сигнализации, который может задержать реализацию мер противопожарной защиты
Коммерческие компании	Вышеупомянутые проблемы плюс проблемы, вызванные потерей связи. Сбой компьютера и потеря данных
Больница Санаторий	Вышеупомянутые проблемы, а также проблемы, с которыми сталкиваются пациенты в отделении интенсивной терапии, и трудности спасения неподвижных пациентов.

Промышленное предприятие	Дополнительное воздействие молнии возникает в зависимости от сферы деятельности и имущества предприятий, проблемы варьируются от небольших до недопустимых повреждений и производственных потерь.
Музей и археологические раскопки	Безвозвратные убытки, связанные с повреждением объектов культурного значения
Телекоммуникации Электростанции	Недопустимая потеря общественных коммуникаций
Фабрика пиротехнических изделий Завод по производству боеприпасов	Последствия пожара и взрыва для завода и близлежащих окрестностей
Химический завод Нефтеперегонный завод Биохимическая лаборатория и завод	Пожар и взрыв на заводе с пагубными и глобальными экологическими последствиями для местных жителей

Меры защиты. Идеальная защита здания (сооружения) предполагает, что защищаемый объект должен быть заземлен, полностью закрыт проводящим экраном соответствующей толщины и оборудован подходящим соединением в точке, где проходят линии связи здания (сооружения). Войти на экран. Эта защита может предотвратить проникновение тока молнии и его электромагнитных полей в защищаемый объект и избежать опасных тепловых и электродинамических эффектов тока и, следовательно, риска возгорания и перенапряжения во внутренних системах.

На практике обеспечить полную защиту часто невозможно и экономически непрактично.

Недостаточные размеры экрана и/или недостаточная толщина могут позволить току молнии проникнуть в экран и привести к:

- физическое повреждение здания и представляющее угрозу жизни и здоровью человека;
- отказ внутренних систем.

Защитные меры, принятые для уменьшения ущерба и связанных косвенных убытков, сводятся к двум направлениям: внешняя или внутренняя молниезащита).

Внешняя молниезащита

Внешняя молниезащита представляет собой систему, обеспечивающую перехват молнии и отвод её в землю, тем самым, защищая здание (сооружение) от повреждения и пожара. В момент прямого удара молнии в строительный объект правильно спроектированное и сконструированное устройство молниезащиты должно поглощать ток молнии и направлять его через нижние проводники в систему заземления, где должна безопасно рассеиваться энергия разряда. Протекание тока молнии должно происходить без повреждения защищаемого объекта и быть безопасным для людей внутри и снаружи объекта. Внешняя молниезащита состоит из следующих элементов:

Громоотвод (молниеприёмник, молниеотвод) – устройство для перехвата молнии. Принцип действия громоотвода заключается в том, что удар молнии

падает на самые высокие и хорошо заземленные металлические конструкции. Если объект находится в зоне защиты громоотвода, его не поразит молния.

Разрядник - устройство, проводящее разряд тока молнии от громоотвода на землю. Устанавливается на стену конструкции и водосточные трубы. Это медный провод или полоска, которая проходит от молниеотвода до заземляющего электрода.

Заземлитель - это устройство, которое отводит 50% или более тока молнии, прошедшего через разрядник на землю. Оставшаяся мощность распределяется по коммуникациям, прилегающим к строению. Заземлитель - единственный внешний элемент молниезащиты, который погружен в землю. Электроды заземления могут быть элементами различных размеров, материалов и форм, отвечающих требованиям нормативных документов. На рисунке 1 изображена молния, попавшая в молниеотвод Эйфелевой башни.



Рисунок 1 – Молния ударяет в молниеотвод Эйфелевой башни 1902 г.

Внутренняя молниезащита

Внутренняя молниезащита - это комбинация устройств защиты от перенапряжения. Функция внутренней системы молниезащиты заключается в предотвращении возникновения опасных искр внутри конструкции (объекта защиты). Искра возникает в основном из-за протекания электрического тока по проводнику (нисходящему проводнику). Это приводит к большой разнице потенциалов между металлическими и проводящими элементами системы.

Это необходимо, поскольку система заземления и выравнивания потенциалов устанавливает прямое соединение между внешней системой молниезащиты и зданием. Обычно принято различать перенапряжения, вызванные прямыми и непрямыми ударами молнии. Первые возникают при ударе молнии в здании (строении) или в линиях связи (линии электропередач, линии связи), подключенных к зданию (строению). Последние возникают из-за падения возле здания (сооружения) или удара молнии возле линий связи. Параметры вспышки также различаются в зависимости от типа воздействия. Перенапряжения, вызванные прямым ударом, называются типом: 1. Они наиболее опасны, потому что несут в себе большое количество накопленной энергии. Скачки, вызванные непрямым ударом, называются типом 2. Они менее опасны: запасенная энергия примерно в семнадцать раз меньше, чем у типа 1.

Зоны защиты молниеотвода

Зона молниезащиты – это часть пространства, примыкающая к молниеотводу, в пределах которой здание или сооружение защищено от прямого удара молнии с определенной степенью надежности. Зона защиты типа А имеет уровень надежности 99,5% и выше, а зона защиты типа В – 95% и выше. По типу молниеприемников молниеотводы делят на стержневые, тросовые и сетчатые, по числу и общей зоне защиты - на одиночные, двойные и многократные. Кроме того, различают молниеотводы отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

Стержневые молниеотводы – это горизонтальные стальные тросы или провода, прикрепленные к двум опорам, вдоль каждой из которых проложен токоотвод на отдельном заземляющем электроде. Для решетчатых молниеотводов молниеотвод представляет собой металлическую сетку, которая соединяется токоотводом с заземляющим электродом.

Стержневые молниеотводы, как правило, могут быть из стального проката различного профиля. Самыми популярными профилями для производства молниеотводов являются стержни и водогазопроводные трубы.

Тросовые молниеприемники представляют собой стальной трос, подвешенный над защищаемым домом, закрепленный на несущих конструкциях (опорах, мачтах). В качестве кабеля используется обычный стальной оцинкованный трос сечением не менее 35 мм². В принципе, молниеотводы из контактной проволоки используются для защиты протяженных конструкций (воздушных линий, протяженных зданий и т. д.), однако в некоторых случаях использование молниеотводов из контактной проволоки также может быть эффективным для защиты. И одним из возможных способов их защиты могут

быть молниеотводы из контактной проволоки, которые делают после ввода дома в эксплуатацию на стеллажах отдельно от дома.

Сетчатые молниеприемники – это громоотводы, устанавливаемые на крыше защищаемого дома или хозяйственной постройки. Изготавливаются из круглой стали диаметром 6-8 мм. Также можно использовать плоские стальные полосы сечением 20 мм. Поскольку на крыше дома укладывается молниезащитная сетка, необходимо решить вопрос беспрепятственного отвода дождевой воды, очистки от снега и льда. Для этого разрешается прокладывать сетку молниеприемника под слоем негорючего тепло- и гидроизоляционного или другого кровельного покрытия. Через каждые 25 м по периметру дома делают токоотводы с подключением к круглому стальному заземляющему электроду диаметром 10 мм, выполненному вокруг дома.

Порядок расчета молниезащиты

Общая схема расчета устройств молниезащиты следующая: производится количественная оценка вероятности удара молнии от защищаемого объекта, расположенного на ровной поверхности с достаточно однородными грунтовыми условиями в месте, занятом объектом, то есть определяется ожидаемое количество лучей в год для охраняемого объекта; в зависимости от категории молниезащитного устройства и величины, полученной из ожидаемого количества ударов молнии в год от защищаемого объекта, определяется тип зоны защиты; рассчитываются попарно взятые взаимные расстояния между громоотводами и рассчитываются параметры защитных зон на заданной высоте на поверхности земли.

В зависимости от типа, количества и взаимного расположения молниеотводов зоны защиты могут иметь самые разные геометрические формы. Оценку надежности молниезащиты на разной высоте проводит проектировщик, который при необходимости уточняет параметры молниезащитного устройства и принимает решение о необходимости дальнейшего расчета.

Промышленные, жилые и общественные здания и сооружения в зависимости от их конструктивных особенностей, назначения и значения, вероятности взрыва или пожара, технологических характеристик, а также интенсивности временной активности в районе их расположения, по устройству молниезащиты делятся на три категории:

- Производственные здания и сооружения с взрывоопасными помещениями классов В-1 и В-2 по ПУЭ (в эту категорию также входят здания электростанций и подстанций).
- Другие здания и сооружения, содержащие взрывоопасные помещения, не отнесенные к категории I.
- Все остальные здания и сооружения, включая помещения с риском возгорания.

Для оценки грозовой активности в различных регионах страны используется карта распределения среднего количества гроз в году, на которой нанесены линии равной продолжительности гроз или данные со станции. местная погода.

Литература

1. Справочник по элементарной физике. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. 5-е изд. М: Наука, 1972 г. // Режим доступа: <https://may.alleng.org/d/phys/phys67.htm> – Дата доступа: 18.11.2020
2. ТКП 336-2011 (02230) Молниезащита зданий, сооружений инженерных коммуникации. Министерство энергетики Республики Беларусь // Режим доступа: http://energocis.ru/wyswyg/file/Sbornik_Gosnadzor/Belarus/2./2.8/%D0%A2%D0%9A%D0%9F%20336%20%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B0.pdf – Дата доступа: 16.11.2020
3. Электричество, М., ГИТТЛ, 1956, гл. XVI «Разряды в газах». Калашников С.Г. // Режим доступа: <https://may.alleng.org/d/phys/phys138.htm> -Дата доступа: 17.11.2020
4. Радиоактивный громоотвод. Занимательная ядерная физика. Мухин К.Н. // Режим доступа: <http://www.pseudology.org/science/MuxinYadernayaFizika.pdf> – Дата доступа: 17.11.2020
5. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Москва: Издательство МЭИ, 2004 г. // Режим доступа: <http://electrolibrary.info/molniya.pdf> – Дата доступа: 15.11.2020

УДК 004.522

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИХ ГОЛОСОМ

Пляхина Д.В., Шкурко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Еще 10 лет назад автоматическое распознавание речи находилось на грани возможного, чтобы стать главным средством взаимодействия людей с их основными вычислительными устройствами.

В преддверии эры голосовой электроники исследователи Массачусетского технологического института создали маломощный чип, специализированный для автоматического распознавания речи. В то время как мобильный телефон, работающий с программным обеспечением распознавания речи, может потребовать около 1 Вт мощности, новый чип требует от 0,2 до 10 мВт, в зависимости от количества слов, которые он должен распознать.

В реальном приложении это, вероятно, приводит к экономии энергии от 90 до 99%, что может сделать голосовое управление практичным для относительно простых электронных устройств. Это включает в себя устройства с ограниченным энергопотреблением, которые должны собирать энергию из окружающей среды или работать месяцы между зарядами батарей. Такие устройства образуют технологическую основу того, что называется “интернетом вещей”, который относится к идее, что транспортные средства, бытовая техника, строительные конструкции, производственное оборудование и даже домашний скот скоро будут иметь датчики, которые передают информацию непосредственно на сетевые серверы, помогая в обслуживании и координации задач.

“Речевой ввод станет естественным интерфейсом для многих носимых приложений и интеллектуальных устройств”, - говорит Ананта Чандракасан, профессор электротехники и компьютерных наук Ванневара Буша в Массачусетском технологическом институте, чья группа разработала новый чип. “Миниатюризация этих устройств потребует иного интерфейса, чем сенсорный или клавиатурный. Крайне важно внедрить речевую функциональность локально, чтобы сэкономить системное энергопотребление по сравнению с выполнением этой операции в облаке”.

“Я не думаю, что мы действительно разработали эту технологию для конкретного приложения”, - добавляет Майкл Прайс, который руководил разработкой чипа в качестве аспиранта Массачусетского технологического института по электротехнике и информатике и теперь работает в компании Chipmaker Analog Devices. “Мы попытались создать инфраструктуру, чтобы обеспечить лучшие компромиссы для системного дизайнера, чем они имели бы с предыдущей технологией, будь то программное или аппаратное ускорение”.

Прайс, Чандракасан и Джим Гласс, старший научный сотрудник Лаборатории компьютерных наук и искусственного интеллекта Массачусетского технологического института, описали новый чип в статье

Прайса, представленной недавно на международной конференции по твердотельным схемам.

Сегодня наиболее эффективные распознаватели речи, как и многие другие современные системы искусственного интеллекта, основаны на нейронных сетях, виртуальных сетях простых информационных процессоров, грубо смоделированных на работе человеческого мозга. Большая часть схем нового чипа связана с максимально эффективным внедрением сетей распознавания речи.

Но даже самая энергоэффективная система распознавания речи быстро разрядит батарею устройства, если оно будет работать без перерыва. Таким образом, чип также включает в себя более простую схему “обнаружения голосовой активности”, которая отслеживает окружающий шум, чтобы определить, может ли это быть речь. Если ответ положительный, то чип запускает большую, более сложную схему распознавания речи.

На самом деле, для экспериментальных целей, чип исследователей имел три различных схемы обнаружения голосовой активности, с разной степенью сложности и, следовательно, различными требованиями к потребляемой мощности. Какая схема составления алгоритмов является наиболее энергоэффективной, зависит от контекста. В тестах, имитирующих широкий диапазон условий, наиболее интеллектуальная программа из нескольких вариантов, привела к наибольшей экономии энергии для системы в целом. Даже при том, что он потреблял почти в три раза больше энергии, чем простейшая схема, он генерировал гораздо меньше ложных срабатываний; более простые схемы часто пережевывали свою экономию энергии, спонтанно активируя остальную часть чипа.

Типичная нейронная сеть состоит из тысяч обрабатывающих “узлов”, способных выполнять только простые вычисления, но плотно связанных друг с другом. В Сети того типа, который обычно используется для распознавания голоса, узлы располагаются слоями. Голосовые данные поступают в нижний слой сети, узлы которого обрабатывают и передают их узлам следующего слоя, узлы которого обрабатывают и передают их следующему слою и так далее. Вывод верхнего слоя указывает на вероятность того, что голосовые данные представляют собой определенный речевой звук.

Сеть распознавания голоса слишком велика, чтобы поместиться в встроенной памяти чипа, что является проблемой, потому что выход за пределы чипа для получения данных является гораздо более энергоёмким, чем извлечение его из локальных хранилищ. Таким образом, программное обеспечение исследователей MIT концентрируется на минимизации объема данных, которые чип должен извлекать, из внешних запоминающих устройств.

Управление полосой пропускания

Узел в середине нейронной сети может принимать данные от дюжины других узлов и передавать их еще дюжине. Каждое из этих двух десятков соединений имеет связанный с ним “вес” - число, указывающее, насколько данные, передаваемые через него, должны учитываться в вычислениях принимающего узла. Первый шаг к минимизации пропускной способности

памяти нового чипа – это сжатие объёма памяти, связанных с каждым блоком обработки данных. Данные распаковываются только после того, как они введены на чип.

Чип также использует тот факт, что при распознавании речи волна за волной данные должны проходить через сеть. Входящий звуковой сигнал разбивается на 10-мс интервалы, каждый из которых должен оцениваться отдельно. Чип исследователей Массачусетского технологического института одновременно вводит один узел нейронной сети, но он передает через него данные с 32 последовательных 10-мс интервалов.

Если узел имеет дюжину выходов, то 32 прохода обработки данных приводят к 384 выходным значениям, которые чип хранит локально. Каждый из них должен быть соединен с 11 другими значениями при подаче на следующий уровень обработки и так далее. Таким образом, чип в конечном итоге требует значительного количества памяти для своих промежуточных вычислений. Но он извлекает только один сжатый блок памяти из внешних устройств памяти за один раз, сохраняя своё быстродействие при низком потреблении энергии.

“Для следующего поколения мобильных и носимых устройств, крайне важно обеспечить распознавание речи при сверхнизком энергопотреблении”, - говорит Мариан Верхельст, профессор микроэлектроники Католического университета Левена в Бельгии. “Это происходит потому, что существует явная тенденция к устройствам с минимальными размерами, таким как часы, наушники или очки, требующим пользовательского интерфейса, который может обойтись без сенсорного экрана. Речь управления представляет очень естественный способ взаимодействия с такими устройствами”.

Хотя технология распознавания речи значительно улучшилась за последние годы, голосовые пользовательские интерфейсы все еще страдают от ошибок синтаксического анализа или транскрипции, при которых речь пользователя интерпретируется неправильно. Эти ошибки, как правило, особенно распространены, когда в речевом содержании используется технический словарь (например, медицинская терминология) или нетрадиционные варианты написания, такие как музыка или название песен. Поэтому эффективное системное проектирование для максимального понимания разговорной речи остается открытой областью исследований. Речевые пользовательские интерфейсы, которые интерпретируют и управляют разговорным состоянием, сложно спроектировать из-за присущей им сложности интеграции сложных задач обработки естественного языка, таких как распознавание именованных сущностей, поиск информации управления диалогами. Большинство голосовых помощников сегодня способны выполнять отдельные команды очень хорошо, но ограничены в своей способности распознавать диалог речи за пределами поставленной узкой задачи управления. Также могут возникнуть сложности в распознавании речи при осуществлении нескольких поворотов темы в разговоре.

Литература

1. Hardesty, L. Voice control everywhere / L. Hardesty // MIT News [Electronic resource]. – Mode of access: <https://news.mit.edu/2017/low-power-chip-speech-recognition-electronics-0213> – Date of access: 23.11.2020.
2. Голосовой интерфейс пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.qaz.wiki/wiki/Voice_user_interface – Дата доступа: 22.11.2020.

УДК 338.27:004

ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПРИНТЕРОВ

Лапин А.И., Лавринович В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

К сожалению, современный уровень осведомленности в 3D технологиях оставляет желать лучшего. Обычно, что даже при наличии начальных знаний о 3D принтерах, применение 3D печати остается непонятным для ряда пользователей. В этой статье мы расскажем некоторые возможности 3D печати.

В современные дни трехмерное моделирование – это одна из самых лучших возможностей создать объемные предметы. Для печати объемных пластиковых изделий можно купить 3D-принтер, который представляет собой устройство для создания трехмерных моделей. В отличие от обычного принтера, в котором используется тонер, в 3D печатных устройствах применяют пластик, нейлон, стеклянный порошок, металлическую пудру и другие материалы. При помощи такой техники создают детские игрушки, канцелярские принадлежности, зубные протезы и многое другое. В основе такой технологии печати лежит послойное создание твердых предметов.

Принципы работы 3D-принтера

- создание на компьютере модели будущего предмета;
- деление шаблона на поперечные слои при помощи программного обеспечения (ПО);
- поэтапное наращивание модели, начиная от жидкого состояния, и заканчивая твердым состоянием.

На сегодняшний день существуют несколько технологий трехмерной печати, которые отличаются друг от друга используемым ПО, свойствами материала для создания объемной модели и техникой. Самые распространённые технологий 3D-печати следует выделить:

1. Экструзионную печать, при которой объемные модели создаются под воздействием экструдера на материал. В качестве расходных материалов используют разные виды полимерных составов. Суть печати: сырье нагревается, после чего выдавливается через сопло и формируется фрагмент.

2. Порошковая технология трехмерной печати включает в себя струйную, выборочную и электронно-лучевую печати. В первом случае тонкие слои порошка пропитываются воском или полимерными составами, а во втором тонкие слои порошка спекаются под воздействием лазера.

3. Ламинирование – это наиболее дешевый способ создания разных объемных моделей. Основным сырьем служит пластик, тонкие металлические листы и бумага.

4. Печать при помощи фотополимерных смол, использующихся в жидком состоянии, которые затвердевают под воздействием УФ-света.

На 3D принтере можно делать различные украшения, детали на автомобили, чехлы для смартфонов, медицинские принадлежности, мебельную фурнитуру и многое другое.

Все модели 3D-принтеров существенно отличаются друг от друга. Они предназначены для выполнения различных задач из соответствующих материалов. На данный момент есть множество 3D принтеров и отличия их бывают в качестве печати, ее скорости, объеме рабочего пространства, возможности использования различных материалов, цветовой палитре и даже возможности печатать одновременно несколько проектов. Возможности принтера очень велики: производство моделей домов, каркасов для велосипедов, печать деталей кузова машин, создание протезов и даже распечатка живых тканей из биоматериала.

Еще одно применение 3D печати – ремонт и восстановление поврежденных деталей. Для этого 3D печать подходит идеально. Проводить такую процедуру можно как самостоятельно, при наличии оборудования, так и в специализированных сервисах 3D печати, таких как 3D-Device. Первым делом на основе поврежденного изделия строится верная 3D модель. Для упрощения изготовления также может быть использовано 3D сканирование. Затем готовая модель отправляется в печать и воспроизводится на 3D-принтер в нужном количестве экземпляров. Ремонт и восстановление поврежденных деталей с помощью 3D-принтера происходит быстро и эффективно, а наличие цифровой модели компонента позволяет заново отпечатать его в любое время.

3D принтеры сегодня являются перспективной разработкой в различных областях медицины. На данный момент, с помощью объемной печати, специалисты могут за короткие сроки создать имплантат кости любой сложности, протез, комплексный медицинский инструмент и т.п.

Термопринтеры – это не единственные аппараты, которые способны печатать 3D модели. Крайне популярен на данный момент 3D-принтер с холодным экструдером в виде шприца. Такой принтер позволяет работать с бетонными смесями, глиной, силиконом, пластилином и т.д. Именно такой вид принтеров используется в строительстве.

На сегодняшний день уже существуют дома, построенные с помощью крупного строительного принтера. Он имеет высоту в 6 метров и длину пролета около 150 метров. На данный момент принтер может распечатать пол и стены здания, а вот окна, перекрытие и крыша монтируются вручную. При изготовлении стен жилого дома принтер возводит пару десятков слоев и машину выключают, укладывают арматуру по периметру всех стен, и принтер продолжает работу над домом. Этот технологический процесс раз за разом повторяется до возведения всего дома.

При наличии 3D-принтера порадовать детей очень просто – достаточно изготовить новенькие 3D игрушки. Уже существует несколько довольно интересных проектов коллективных 3D-печатных игр, и со временем этот список будет только расширяться. Это применение 3D-принтера порадует не только детей, но и увлеченных коллекционеров, ведь на 3D-печати можно напечатать фигурки любых персонажей и атрибутов компьютерных игр и фильмов. А цветная 3D печать позволит создать эксклюзивные полноцветные сувениры – миниатюрные фигурки реальных людей. Для этого цифровая модель человека формируется на основе данных 3D-сканирования. При этом все текстуры и цвета

сохраняются. Такой подарок точно заинтересует многих, ведь получить крошечную копию самого себя так необычно.

Для создания чего-либо на принтере Вам необходимо отсканировать или создать свою 3D модель. Для создания модели используют множество различных программ, ориентированных на объёмное моделирование. Одной из самых популярных программ являются 3DMax, 3Dtin и самый простой и интересный — Thinkercard, разработанный для детишек. Программа имеет множество готовых файлов, и даже возможность экспортировать модель в игру MineCraft.

После создания модели необходимо сверить параметры принтера и создаваемого объекта. Можно масштабировать объект или разрезать его на детали, которые без труда поместятся на рабочем пространстве принтера.

Найти программное обеспечение на 3D принтер не составит труда, так как их огромное количество. Во-первых, почти все производители предоставляют фирменное ПО к своему продукту. Во-вторых, тема 3D принтеров достаточно популярна и интересна. В связи с этим, постепенно появляется новое программное обеспечение, с множеством дополнительных плагинов.

То, о чем когда-то писали в своих книгах фантасты XX века, уже в наше время, благодаря разработке Чака Халла в 1986 году, стало не просто реальным, а и вполне доступным девайсом.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/primenenie-3d-pechati/> – Дата доступа: 02.10.2020
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.popmech.ru/technologies/251592-10-neveroyatnykh-vozmozhnostey-3d-pechati/> – Дата доступа: 02.10.2020
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://500net.ru/content/vozmozhnosti-3d-printerov-i-vidy-trehmernoju-pechati> – Дата доступа: 02.10.2020
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpt.ru/page/3d-printer> – Дата доступа: 02.10.2020
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dtoday.ru/wiki/3D-printer/> – Дата доступа: 02.10.2020

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Андреев В.А.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Арсенович Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Арсенович Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Базан Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Базан Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

ВЛИЯНИЕ НЕУЧЕТА ПРОВОДИМОСТЕЙ НА РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Барановский П. Г., Мятлев Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

ЗЕЛЁНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Борщевский А.В., Булин М.Н.

Научные руководители – ассистент Попкова Н.А., доцент Зайцева Н.В.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ – ЭНЕРГЕТИКА ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ

Бруцкий-Стемпковский Н.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

ОПЫТ МИРОВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

РАЗРАБОТКА БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Бусел Е. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ КОЭФФИЦИЕНТА МАКСИМУМА

Бусел Е. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

РАСЧЁТ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА МАТРИЧНЫМ МЕТОДОМ

Ващук К. В., Жаркова Д. О., Мартынович А. Э., Щубрет Е.А.

Научный руководитель – доцент Новиков С. О.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА ТРАНСФОРМАТОРА

Ващук К. В., Жаркова Д. О.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н. С.

МЕТОД РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ И РАСЧЁТНОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ

Воруев С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

ПОСТРОЕНИЕ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Галабурда Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЬЮ

Галабурда Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

АРМАТУРА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ: НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ

Грищенко Н. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЭЦ НА ГАЗЕ

Марчук К.А.

Научный руководитель – Дашковский А.А.

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Дашковский А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

МОЛНЕЗАЩИТА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ 6(10)/0,4 кВ

Дехтерёнок М.В.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Дехтерёнок М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАСЛОПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ

Заруба И.А., Сёмочкин Д.Е., Драк А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЛИНИЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Заруба И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Прокопенко В.Г.

УЧЁТ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

ИНДЕКСЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ ИХ УВЕЛИЧЕНИЯ

Ковзова Д.Г.

Научный руководитель — старший преподаватель Макаревич В.В.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ MICROGRID В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ковзова Д.Г.

Научный руководитель — старший преподаватель Макаревич В.В.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОНЕСУЩЕГО ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА БЕЗ ОТДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ ЖИЛЫ В МАГИСТРАЛЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 0,4 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

ВИДЫ ЖЁСТКИХ ШИН. СТАНДАРТЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ШИН И ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Гапанюк С. Г.

СОЗДАНИЕ ОКОННОГО ИНТЕРФЕЙСА В PASKALABC

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Гапанюк С. Г.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Люкевич В. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н. С.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Мартынович А.Э., Мисюля А.И., Щубрет Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА PYTHON И ЕГО БИБЛИОТЕКИ MATPLOTLIB.PYPLOTTING

Марчук К.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

ПРИЧИНЫ ОТКАЗА ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАН ОТ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Мензелеев А. С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М. И.

ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА В НИЗКООМНЫХ ЦЕПЯХ БЕЗ РАЗРЫВА ЦЕПИ, КАК КОНТРОЛЬ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Монич К. И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

СЕКЦИОНИРОВАНИЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 10кВ РЕКЛОУЗЕРАМИ

Монич К. И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

АРМАТУРА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ: НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ

Мурашко Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

СТАРЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Мятлев Е.В., Хитров И.С.

Руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

ХИЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Мятлев Е.В.

Руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

**РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ,
ЦИФРОВОЙ РЭС**

Науменко В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКИХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
СЕТЕЙ**

Науменко В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ НАЛИЧИИ
НЕСКОЛЬКИХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИЛ В ПРОЛЕТЕ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ СТРЕЛ
ПРОВЕСА ПРИ НАЛИЧИИ ОДНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ В
ПРОЛЕТЕ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ
КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ ПРИ ОТСУТСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ
СИЛ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 0.4 И 10 кВ
SmartLine**

Николаев Н.М., Бурдин Д.А.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

**ТВЕРДАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ЭЛЕГАЗУ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВАХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Поздняков М. Н., Коротченко С.Н.

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

**ИННОВАЦИИ И ПРОБЛЕМЫ В КОНСТРУКЦИИ ИЗОЛЯТОРОВ
СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Поздняков М.Н., Коротченко С.Н.

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

ИННОВАЦИОННАЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ 6-10/0,95/0,4В

Прокопенко В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПОР ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Прокопенко В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Тарасевич Д.Д., Лосенков Д.О., Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РБ

Товстюк А.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Товстюк А.Ю.

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

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Товстюк А.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Хитров И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Гапанюк С.Г.

ДЕМОНТАЖ И ПОСЛЕДУЮЩАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Хитров И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В ЗАЩИТЕ РАПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6–10 КВ

Шавкун О.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЕЙ С БУМАЖНО-ПРОПИТАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Шелест М. В.

Научный руководитель – д.т.н, профессор Короткевич М.А.

РАЗБИВКА КОТЛОВАНОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ФУНДАМЕНТОВ ИЛИ ОПОР

Дюров В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА СТОРОНЕ 110 кВ

Барановский П. Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

ПОВЫШЕНИЕ НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Божко Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

УДК 621.311

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Андреев В.А.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

С развитием энергетики люди столкнулись с проблемой эффективного сохранения излишков энергии для последующего использования. Особенно пагубно сказывается данная проблема на развитии способов выработки энергии с использованием возобновляемых источников энергии, например, гидроэнергетика, гелиоэнергетика, ветроэнергетика и тд. Проблема заключается в том, что такие способы не могут обеспечить гарантированное поступление энергии потребителям в связи с суточными, сезонными или вовсе плохо прогнозируемыми изменениями их мощности. Именно поэтому сегодня решение данной проблемы вызывает повышенный интерес. Эффективное хранение энергии позволит выровнять пики нагрузок, снизить стоимость электроэнергии в пиковые часы потребления, эффективно использовать возобновляемые источники энергии. На данный момент существует множество способов хранения энергии, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Гидроаккумулятор.

Гидроаккумулятор является наиболее старой, отлаженной и распространенной технологией хранения энергии в больших объемах. Принцип работы довольно прост: две емкости для воды расположены на разном уровне высоты. Во время минимальной потребности в электроэнергии, энергия используется для закачивания воды в верхний резервуар. Во время пика потребления электричества вода с верхнего резервуара сливается вниз, проходит через турбину гидрогенератора, который вырабатывает электричество. Затем вода проходит в нижнюю емкость, откуда затем может пройти данный цикл много раз. Преимущество данной технологии заключается в том, что вода может проходить большое количество циклов, а эффективность составляет порядка 75-85%. Однако среди недостатков можно выделить то, что установка гидроаккумуляторов является дорогостоящей и требует особые географические условия. Установленная мощность всех гидроаккумуляторов в мире составляет порядка 140ГВт. На данный момент в Германии разрабатываются проекты гидроаккумуляторов, которые будут размещены в местах неиспользуемых угледобывающих шахт, а также на дне океана в специально созданных сферических хранилищах.



Рисунок 1 – Верхний резервуар с водой.

Сжатый воздух.

Данная технология заключается в следующем: накопленная энергия подается на электродвигатель, приводящий в действие компрессор. Сжатый в компрессоре воздух охлаждается и хранится при давлении 60-70 атмосфер. Затем при необходимости воздух извлекается из накопителя, нагревается и подается в газовую турбину, где сжатого и нагретый воздух вращает турбину, а генератор подает электроэнергию в энергосистему [6]. Среди минусов данной технологии можно выделить низкий КПД - менее 55%. Это объясняется тем, что часть энергии в процессе сжатия газа превращается в тепловую форму. Установленная мощность в мире не превышает 400 МВт. На сегодняшний день разработана перспективная технология CAES, направленная на повышение эффективности. Она заключается в том, что цикл сжатия и расширения газовой турбины разделяется на два отдельных процесса. После сжатия и охлаждения воздуха в компрессоре, тепловая энергия, выработанная при этом, хранится в герметичном пространстве во время низкого спроса электроэнергии в виде сжатого воздуха. Затем сжатый воздух извлекается путем выкачивания из резервуара воздуха, смешивается с топливом и сжигается, а после расширяется через турбину. Отработанное тепло может быть захвачено через рекуператор перед выпуском в атмосферу и использовано для дальнейшего нагрева холодного воздуха. Эффективность данной технологии в пределах 60-80%. Также энергия в системе CAES может храниться более года, а срок службы таких систем 20-40 лет [2]. Также испытывается новая система EnergyBag – хранение сжатого воздуха в

полимерных накопителях на глубине в несколько сотен метров. Данная система обеспечивает КПД в порядке 75-85%.

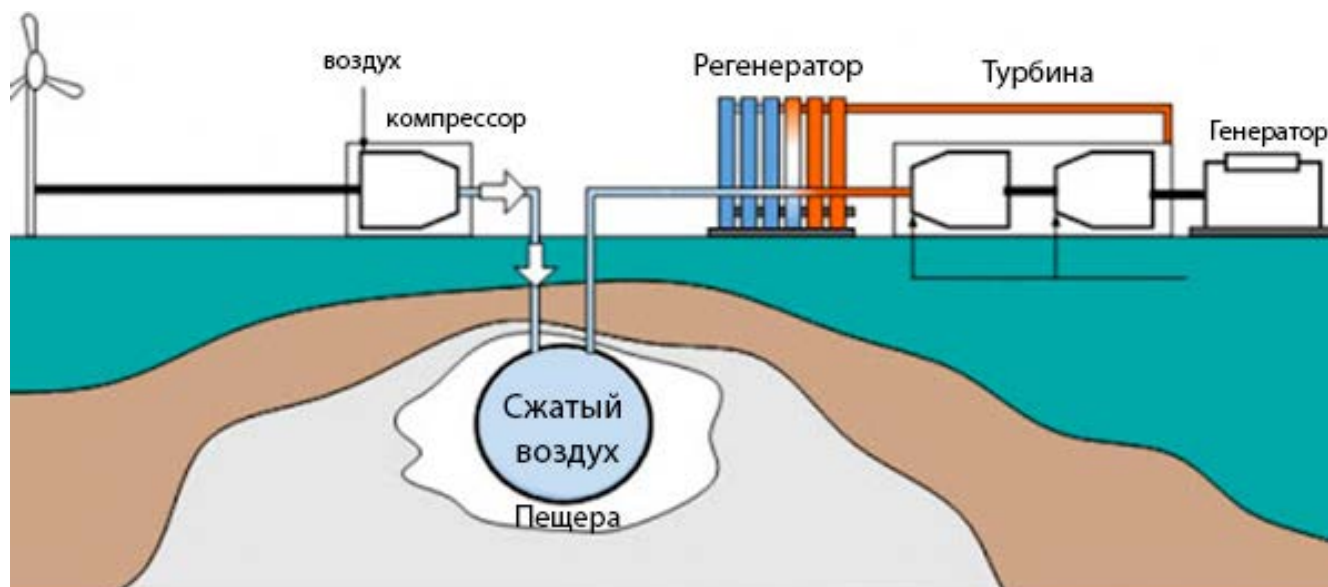


Рисунок 2 – Хранение энергии сжатого воздуха.

Расплавленная соль.

Расплавленная соль имеет свойство удерживать тепло в течение длительного времени. Соль может быть разогрета и расплавлена солнечным инфракрасным излучением. Принцип работы башенных солнечных электростанций заключается в следующем: множество отражателей направляют солнечную энергию на резервуар с солью, который установлен на вершине башни, установленной в центре станции [4]. Расплавленная соль может храниться несколько часов и использоваться, например, для отопления домов вечером, или немедленно вырабатывать электроэнергию посредством парогенератора и турбины. Главное преимущество данной технологии – функционирование расплавленной соли при высоких температурах – более 500 С, благодаря чему работа паровой турбины становится более эффективной. Одним из подобных проектов является солнечный парк в Арабских Эмиратах. В лаборатории AlphabetX изучают возможность использования расплавов соли в сочетании с антифризом [3].

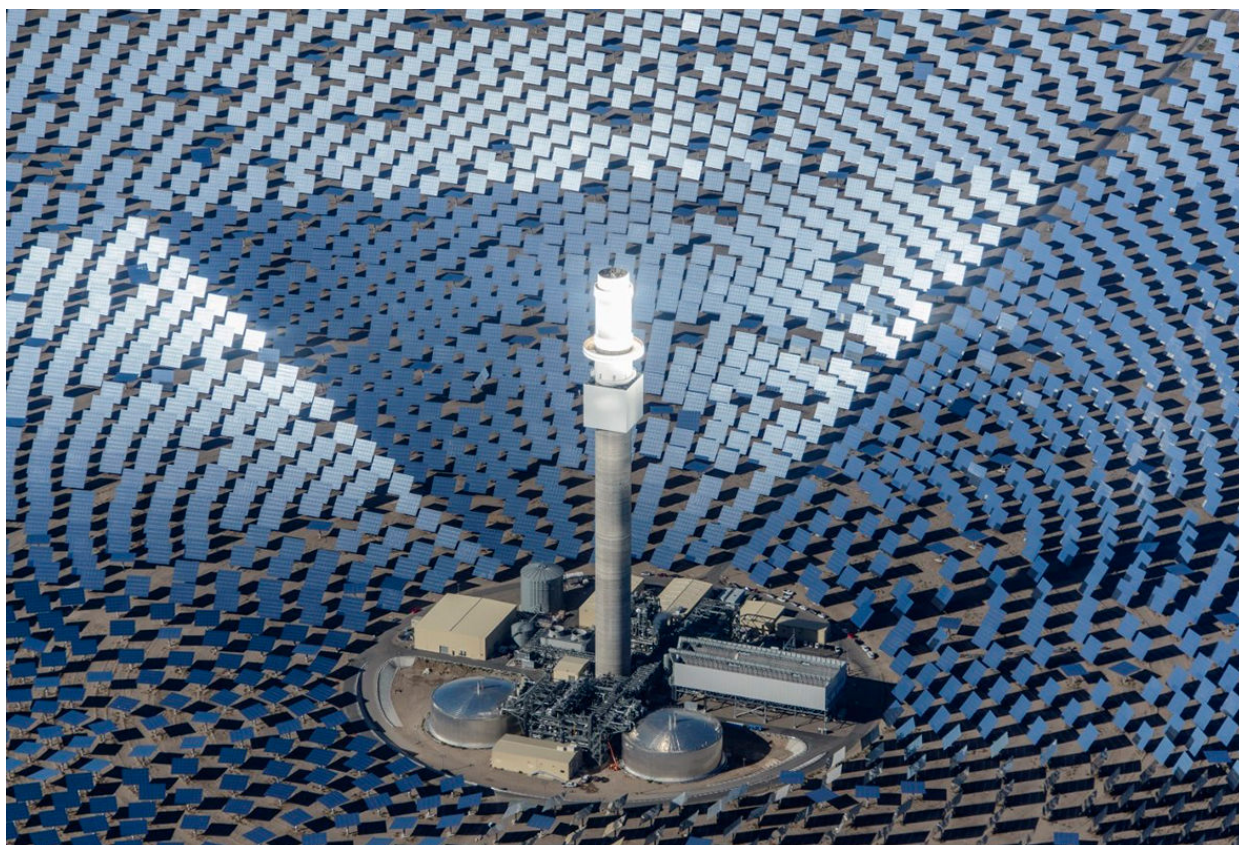


Рисунок 3 – Башенная солнечная электростанция.

Проточный химический аккумулятор.

Аккумулятор отличается от редокс-батареи тем, что аккумулятор выполнен в виде единого корпуса, в котором находятся сразу химические вещества и электроды, с помощью которых вырабатывается электричество. Проточная редокс-батарея позволяет отдельно вынести модуль, преобразующий энергию химических веществ в электроэнергию, и отдельно резервуары, в которых электроэнергия в виде химических веществ будет храниться [5]. Принцип работы проточного аккумулятора состоит в следующем: две жидкости, которые выполняют роль электродов, движутся через топливную ячейку с мембраной, в которой происходит ионное взаимодействие жидких электродов и генерация зарядов разных знаков [4]. В ячейке установлены неподвижные электроды, которые используются для подачи накопленной электрической энергии. Данный процесс происходит без перемешивания жидкостей, что позволяет использовать жидкие электроды много раз. Преимущество данного типа аккумулятора заключается в том, что он надежен, прост в эксплуатации, а также имеет долгий срок службы. КПД составляет порядка 70-80%, но его можно варьировать в зависимости от нужд. Основным недостатком является низкая плотность хранимой энергии. В настоящее время в Германии планируют установить под землей цистерны с электролитами, а именно ванадий, соленая вода, раствор хлора или цинка, а также возвести проточную аккумуляторную батарею на 700 МВт*ч в местных пещерах. Главная цель проекта состоит в уравнивании распределения возобновляемой энергии в течение суток для того, чтобы

избежать перебоев с электричеством, вызванных отсутствием ветра или пасмурной погодой [4].

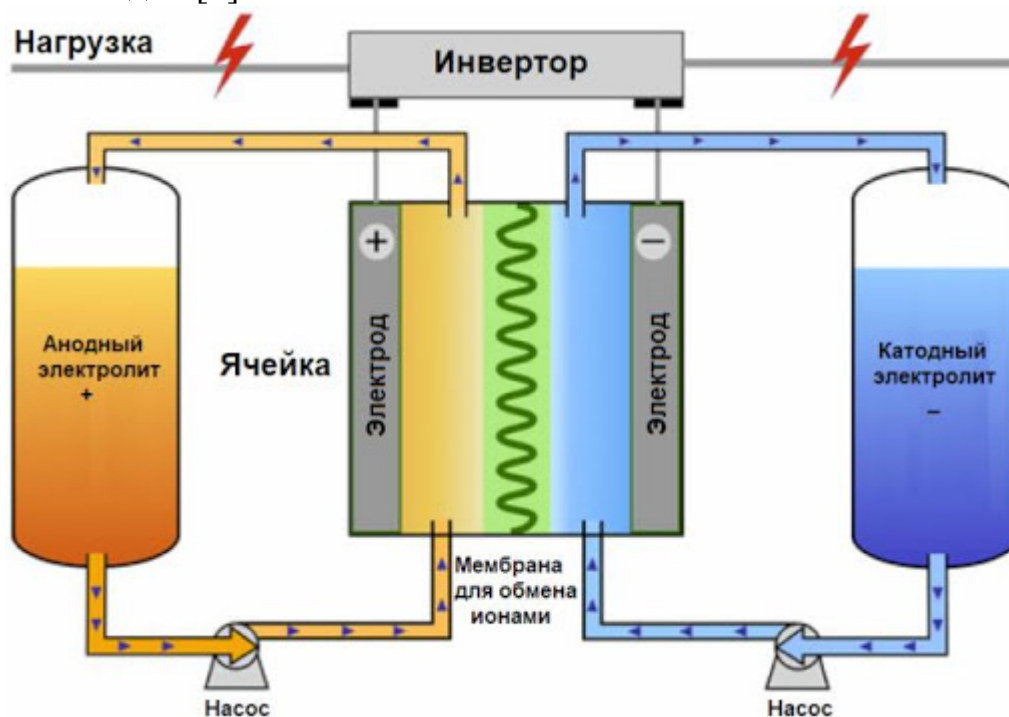


Рисунок 4 – Схема проточной редокс-батареи.

Супермаховик.

Данный вид накопления энергии основан на накоплении кинетической энергии и преобразовании ее в электрическую при необходимости. Накопитель представляет собой цилиндрическую емкость, внутри которой на активных магнитных подшипниках подвешен супермаховик. Супермаховик выполнен из огромного числа слоев углеволоконного композита. На валу маховика установлен ротор мотора-генератора, который раскручивает маховик при приеме энергии и вырабатывает ток при подключении нагрузки. Данная технология имеет широкую область применения: от автономных источников бесперебойного питания для частных хозяйств до крупных промышленных установок [1]. Главным преимуществом является то, что массивный маховик способен мгновенно преобразовать накопленную кинетическую энергию в электрическую. Супермаховик может быть использован в качестве буфера, задача которого – компенсировать резкие пики и спады потребления в течение суток. Среди преимуществ также можно выделить: длительный срок службы более 10 лет, КПД порядка 90%, простота в обслуживании и отсутствие потребности в регулярном обслуживании, экологически безопасен, минимальные эксплуатационные затраты, высокая степень автоматизации. Немецкая компания ATZ производит сегодня накопители на 20 МДж, способные отдавать в нагрузку мощность до 250 кВт, оснащенные системой синхронизации с сетью. Американская компания BeaconPower выпускает цилиндрические накопители на 6 кВт*ч и на 25 кВт*ч, которые можно использовать, набирая кластерами, для обеспечения устойчивости параметров тока в промышленных электросетях страны [1].

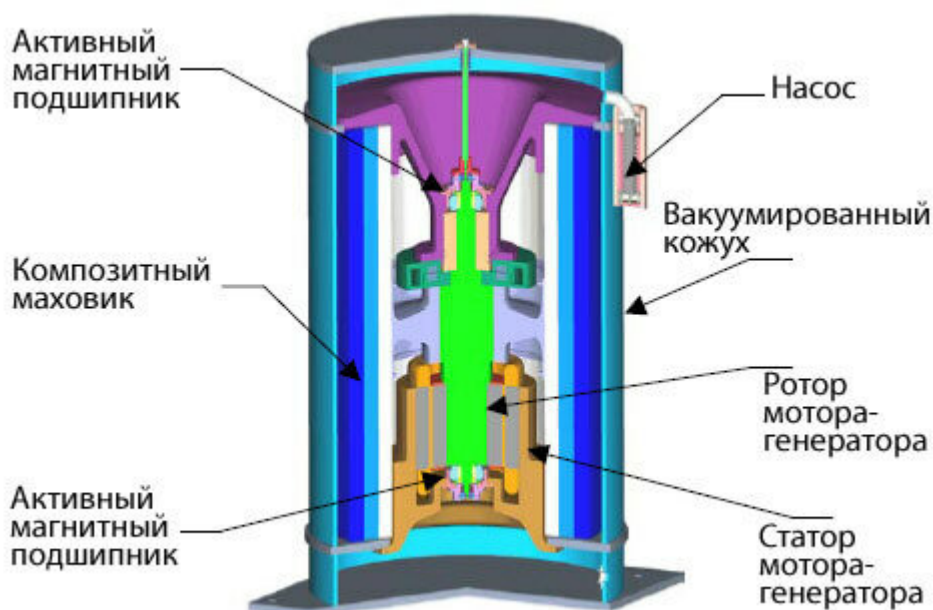


Рисунок 5 – Устройство супермаховика

Таким образом, сегодня нет единственного идеального способа хранения энергии. У каждого способа есть свои плюсы и минусы в разных областях. Однако, проблема хранения энергии не решена до конца. Множество проектов находятся на стадии разработки или уже реализованы и активно используются. С каждым годом появляются новые методы или совершенствуются старые.

Литература

1. Кинетические накопители энергии для электроэнергетики // [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1887-kineticheskie-nakopiteli-jenergii-dlja.html>. Дата доступа: 21.10.2020
2. Накопитель энергии сжатого воздуха // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/books/energy-storage-technologies-and-applications/compressed-air-energy-storage>. Дата доступа: 13.10.2020
3. ПроектMalta: хранение энергии при помощи расплавленной соли выходит на новый уровень // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/434408>. Дата доступа: 15.10.2020
4. Промышленные устройства хранения электроэнергии уровень // [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/energy/2137-promyshlennye-ustroystva-hraneniya-elektroenergii.html>. Дата доступа: 15.10.2020
5. Редокс-батареи: стационарная энергетика // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://postnauka.ru/faq/89594>. Дата доступа: 20.10.2020
6. Храним энергию мешками // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/142784>. Дата доступа: 13.10.2020

УДК 621.311

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ДОМА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

Арсенович Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

В настоящее время в Республике Беларусь на горячее водоснабжение и отопление зданий расходуется более трети всей производимой в стране тепловой энергии.

Энергоэффективность жилого дома обеспечивается с помощью следующих мероприятий:

- применение конструкций, которые обладают высокими теплоизоляционными характеристиками, что обеспечивает надёжную теплоизоляцию;
- применение системы вентиляции с возвратом части энергии для повторного использования тепла вентиляционных выбросов;
- использование внутренних источников тепла и энергии жилого дома.

Главным условием при проектировании энергоэффективного дома является обеспечение комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции. Это производится путем обеспечения непроницаемости для газов и жидкостей поверхностей здания и применения альтернативных источников энергии.

Одним из методов повышения энергоэффективности жилого дома является применение системы вентиляции с рекуперацией тепла, что позволяет обеспечить постоянный приток в квартиры свежего воздуха без необходимости открывать окна. При температуре наружного воздуха $+5 - -5^{\circ}\text{C}$ система вентиляции с рекуперацией сокращает расход тепловой энергии на отопление примерно до 60%, а за отопительный сезон экономия достигает не меньше 40%. При проветривании помещений путем открывания окон эффект энергосбережения не происходит, так как тёплый воздух вытесняется холодным. Из-за этого возрастают затраты на отопление и срок окупаемости оборудования увеличивается. Однако инвестиционные затраты оказываются в среднем выше на 25%. Срок окупаемости таких систем составляет примерно 7–10 лет. Но следует учитывать, что в течении этих 7-10 лет может возникнуть необходимость замены комплектующих.

Поэтому ещё одним возможным направлением решения проблемы является строительство жилых домов энергоэффективной конструкции, но без дорогостоящего энергосберегающего инженерного оборудования и с возможностью его монтажа в любой момент.

К таким методам относится выбор более эффективного утеплителя. Наружное утепление стен даёт максимальную защиту здания от теплопотерь через стены, т.к. принимает на себя холодное воздействие окружающей среды. Системы наружного утепления позволяют уменьшить толщину стен и использовать в их устройстве более легкие материалы без потери теплоизоляционных свойств. Многослойные системы наружного

утепления также позволяют снизить нагрузку на фундамент, что уменьшает расходы на его возведение.

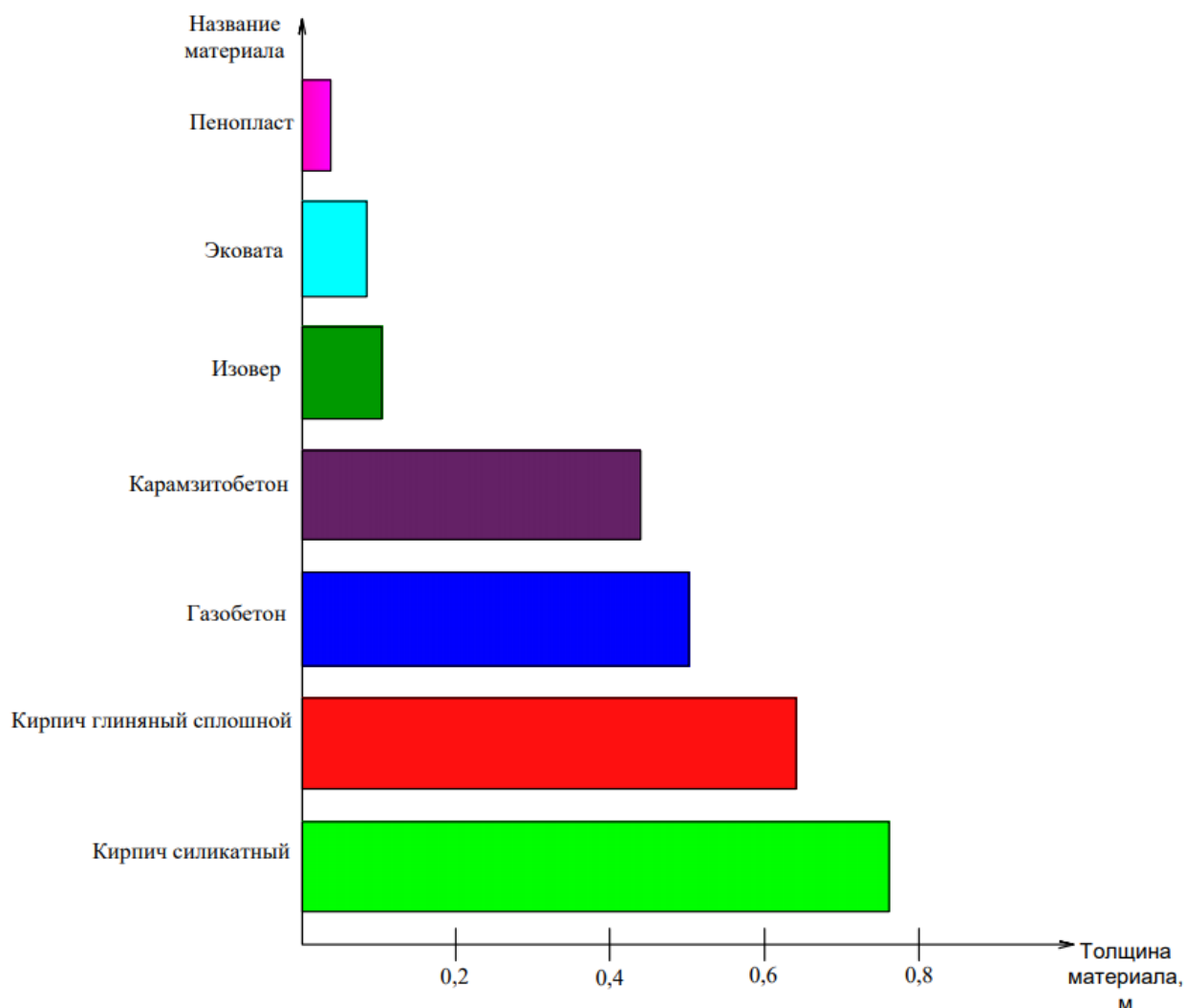


Рисунок 1. Сравнительные характеристики толщины материалов в м, при равной теплоизоляции

Также достаточно большая часть теплопотерь (более 30 %) происходит через окна и двери. В связи с этим, необходимо повышать теплоизоляционные качества окон.

В настоящее время за границей применяются следующие основные способы повышения энергоэффективности:

- теплопоглощающее остекление;
- переход от одно- и двухкамерных стеклопакетов к трех- и более камерным;
- наполнение стеклопакетов инертными газами.

Уменьшение теплопотерь через окна можно достигнуть с помощью следующих способов: стёкла покрывают металлическими пленками с односторонним пропусканием коротко- и длинноволнового излучения. В результате зимой солнечный свет в помещение проходит, а тепло из помещения не уходит, летом происходит наоборот. Коэффициент теплопропускания

находится в пределах $0,2 \div 0,6$. Применение окон с теплоотражающими стеклами позволяет уменьшить потери тепла примерно до 40 %.

Еще одним энергоэффективным способом является способ наполнения стеклопакетов инертными газами. В результате уменьшаются конвекционные токи внутри стеклопакета, что приводит к снижению потерь тепла. С помощью современных технологий можно использовать вакуумные стеклопакеты, толщина которых не больше 1 см, но т.к. вакуум обладает нулевой теплопроводностью, удаётся избежать появления «мостиков холода». Также следует помнить, что современные оконные конструкции могут повысить стоимость жилья примерно на 8 %, а остекление балконов и лоджий — на 3–5 %.

В результате вышперечисленного можно сделать вывод, что на сегодняшний день энергоэффективные решения, которые заложены при проектировании, чаще всего не реализуются из-за того, что стоимость энергоэффективного дома достаточно высока.

Литература

1. Кузнецов А. Проектирование энергосберегающих зданий / Проектные и изыскательские работы в строительстве. 2010. – № 1. – С. 15–20;
2. Щур А.В., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Нетрадиционные системы отопления / Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-практической конференции. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2018. – С.337–338.

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА
ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Арсенович Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Первым этапом при проектировании электрической сети является вычисление электрических нагрузок. По их величине выбирают количество и мощность трансформаторов, генераторов и цеховых трансформаторных подстанций, сечения кабелей и шин, проверяют электрооборудование и т.д. От полученных нагрузок зависят капитальные затраты, эксплуатационные расходы, надёжность работы электрооборудования.

При определении расчётных нагрузок применяют следующие коэффициенты:

- Коэффициент спроса;
- Коэффициент использования;
- Коэффициент мощности.

1. Коэффициент спроса – отношение расчётной мощности к суммарной номинальной мощности группы.

2.

$$k_c = \frac{P_p}{P_n} \quad (1)$$

где P_p - расчётная мощность, кВт;

P_n - суммарная номинальная мощность группы, кВт.

Данный коэффициент следует подбирать в зависимости от вида оборудования.

3. Коэффициент использования – отношение средней активной мощности отдельного приёмника или группы их к её номинальному значению.

4.

$$k_{и} = \frac{P}{P_n} \quad (2)$$

5. Коэффициент мощности – расчётный коэффициент мощности потребителя, характеризующий наличие в нагрузке реактивной составляющей.

6.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (3)$$

где P – активная мощность, кВт;

S – полная мощность, кВ·А.

Для каждого вида и типа оборудования коэффициент мощности принимается разным. Например, для кондиционеров и насосов $\cos\varphi = 0,75$.

Все коэффициенты содержатся в справочных материалах. Они были определены в ходе эксплуатации различных электроприборов, а также из опыта

функционирования заводов и цехов. Специалисты долгое время наблюдали за тем, как работают электрические машины, записывали данные, вели подсчёты и через некоторое время получили определённый коэффициент спроса. Это значение принято за норму и размещено в справочных материалах.

Зная значения коэффициентов электрических нагрузок, производим расчет по каждой группе потребителей, вычисляем установленную мощность, общий коэффициент спроса, общий коэффициент мощности, общую полную мощность и определяем полный расчётный ток. Исходя их полученных значений выбираем оборудование.

В соответствии с полученными значениями тока, по каждой группе осуществляем выбор номинала коммутационного оборудования.

При неравномерной нагрузке по фазам некоторое оборудование может работать с отклонением от заданных номинальных параметров, что приводит к значительному снижению ресурса и ранней поломке. Например, этому более подвержены трехфазные электродвигатели. При неправильном подборе сечения кабеля (например, токовая пропускная способность сечения меньше чем токовая пропускная способность коммутационного аппарата) есть риски его выхода из строя, а также поломке коммутационно аппарата, т.к. такой кабель будет подвержен постоянному нагреву, которое проявляется больше всего в месте соединения с коммутационным аппаратом. При этом не исключается возможность дальнейшего возгорания с переходом в пожар. При неправильной селективности коммутационных аппаратов возможна некорректная работа электроснабжения. Например, при перегрузке или коротком замыкании будет выключаться не групповой автоматический выключатель, а вводной, тем самым обесточивая все отходящие группы.

Поэтому не стоит пренебрегать теоретическими знаниями, так как зачастую они оказываются даже важнее, чем практические. Именно поэтому коэффициенты так важны.

Литература

1. Федин В. Т. Проектирование распределительных сетей / В. Т. Федин, Г. А. Фадеева. – Минск «Вышэйшая школа», 2009 – 361 с.
2. 6-е издание СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий».

УДК621.311

**РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Базан Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Регулирование напряжения – его намеренное изменение в целях технически допустимых условий работы системы электроснабжения или увеличения ее экономичности.

Регулирование напряжения в электрических системах необходимо для обеспечения требуемого качества электроэнергии, отпускаемой потребителям, повышения экономичности эксплуатации систем и управления энергосистемами в нормальных и аварийных режимах. Под регулированием понимается текущее изменение параметров системы (напряжения, коэффициентов трансформации и потерь напряжения), применяемое в целях обеспечения желательного режима напряжений.

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

Регулирование коэффициента трансформации трансформаторов, автотрансформаторов и линейных регуляторов - наиболее распространенный метод регулирования напряжения на шинах потребителей. Изменение коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов под нагрузкой производят при наличии встроенного устройства для регулирования напряжения (РПН).

Для регулирования напряжения с помощью трансформаторов необходимо иметь возможность изменять соотношение витков обмоток трансформаторов. Это достигается тем, что, помимо основных ответвлений обмоток, предусматривают дополнительные (регулируемые) ответвления.

Данный тип переключений применяется для оперативных переключений, связанных с постоянным изменением нагрузки (например, днём и ночью нагрузка на сеть будет разной). В зависимости от того, на какое напряжение и какой мощности трансформатор, РПН может менять значение коэффициента трансформации в пределах от ± 10 до ± 16 % (примерно по 1,5 % на ответвление). Регулирование осуществляется на стороне высокого напряжения.

Каждому ответвлению трансформатора соответствует свое номинальное напряжение обмотки. Изменяя число витков обмотки, можно регулировать номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, а соответственно, будет регулироваться и напряжение на шинах низшего напряжения.

Трансформаторы с переключением ответвлений без возбуждения (ПБВ) не позволяют регулировать напряжение в течение суток, так как это связано с необходимостью отключения трансформатора для каждого переключения, что по эксплуатационным условиям недопустимо. По этой причине ПБВ

используется только для сезонного регулирования напряжения (2—3 раза в год). Современные трансформаторы с ПБВ позволяют регулировать напряжение в пределах $\pm 5\%$ с шагом $2,5\%$ от номинального. Устройства ПБВ устанавливаются на трансформаторах мощностью не более 630 кВА.

В ряде случаев, когда диапазона изменения коэффициента трансформации недостаточно для обеспечения требуемого уровня напряжения, используют компенсирующие устройства (КУ). Путем установки устройств поперечной компенсации, т. е. компенсирующих устройств, подключенных параллельно нагрузке, можно изменять реактивную мощность в узлах сети. Сущность регулирования напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях.

Установка в сети КУ по балансу реактивной мощности обосновывается экономическими соображениями, когда дополнительные затраты на установку и эксплуатацию КУ перекрываются экономией достигаемой снижением потерь электроэнергии.

Компенсирующие устройства могут быть нерегулируемыми и регулируемыми. При включении нерегулируемого компенсирующего устройства в сети создается постоянная добавка потери напряжения (отрицательная или положительная). Если же компенсирующее устройство позволяет изменить свою мощность в зависимости от режима сети, то добавка потери напряжения оказывается переменной, в результате чего появляется возможность регулировать напряжение.

В качестве таких устройств могут служить батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы, шунтирующие и управляемые реакторы, статические тиристорные компенсаторы. Часть компенсирующих устройств может только выдавать в сеть реактивную мощность, некоторые - только потреблять из сети реактивную мощность (шунтирующие и управляемые реакторы). Наиболее ценными для регулирования напряжения являются устройства, обладающие способностями в зависимости от режима сети как генерировать, так и поглощать реактивную мощность (синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы).

Таким образом, оптимизацию уровней напряжения в распределительных сетях проводят в два этапа. На первом (сезонное регулирование) определяют оптимальное положение ПБВ в центрах питания и мощность КУ, не регулируемых автоматически. На втором этапе (текущее регулирование) оптимизируются РПН потребительских подстанций и регулируемые КУ.

Литература

1. ТКП 609-2017 (33240) «Автоматизация распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ». - Минск: РУП «БелТЭИ», 2017 -1 0с.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник.-М.: Энергоатомиздат, 1989.

УДК621.311

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Базан Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Комплексная автоматизация производственных процессов в электроэнергетики представляет собой управление, защиту, отключение и секционирование воздушных линий электропередач и применяется для повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных, городских, поселковых, промышленных и других объектов по стороне 6 (10) кВ.

Автоматическое управление распределительными сетями 10 кВ позволяет реализовать следующие задачи:

- защита магистрали и высоковольтного оборудования;
- повышение надежности электроснабжения потребителей отдельных участков сети;
- обеспечение защиты электротехнического оборудования, установленного на ответвлении сети и организация технического учета электроэнергии;
- автоматический поиск поврежденных участков, ускорение времени восстановления питания;
- автоматическая локализация повреждений и подача резервного питания на неповрежденный участок сети;
- автоматизация процессов работы в сети и дистанционный диспетчерский контроль.

Большинство потребителей распределительной сети может получать электроэнергию по нескольким различным цепям. При аварийном отказе одной или группы питающих связей с учетом существующего режима в сети необходимо быстро найти резервную цепь для подачи электроэнергии к отключенному потребителю.

При этом должны быть учтены следующие требования:

- перегрузка элементов связи и падение напряжения у потребителя не могут превышать допустимые пределы;
- при необходимости ограничения нагрузки в первую очередь отключаются менее ответственные потребители.

Существующие методы восстановления питания потребителей распределительной сети можно условно объединить несколько групп:

- на основе теории графов и комбинаторной математики;
- с созданием базы знаний при обучении и последующей выборкой из нее образа состояния схемы для конкретного события;

К преимуществам первого из них относится нахождение варианта практически для любого режима, включая обоснованный отказ в питании тех узлов потребления, которые по физическим или режимным условиям не могут быть подключены, например, при единственной и поврежденной связи. Однако при кажущейся простоте он требует просмотра множества вариантов, а,

следовательно, увеличивается время получения решения. Для сокращения количества вариантов обычно вводятся те или иные ограничения: комбинационные, режимные и т.д., уменьшающие их число до приемлемых значений, но и ухудшающие качество решения задачи.

При втором подходе множество возможных режимов моделируется вне реального времени и их выходные образы, удовлетворяющие обеспечению потребителей питанием (состояние выключателей связей), запоминаются в базе знаний. В реальном времени по входному образу (условиям некорректного режима) из базы выбирается соответствующий ему выходной образ – схема сети. Такой подход позволяет сравнительно быстро найти решение. Его недостатком является большой объем базы знаний, рост которого зависит практически экспоненциально от числа связей распределительной сети. Так, для распределительной сети с 1000 связей объем под базу знаний оценивается в 10^{21} Гбайт. С учетом различных ограничений эта цифра уменьшается, но все же остается значительной.

Проблемой в указанных методах является модернизация распределительной сети. Если в первом случае ввод или добавление ее новых элементов увеличивает число рассматриваемых вариантов, то для второго весь процесс обучения для области сети, на которую модернизация связей и узлов оказывает влияние, необходимо повторить.

Определенную сложность составляет увязка работы компьютерного комплекса по поиску схемы питания потребителей распределительной сети с информационной базой ее диспетчерского пункта и с автоматикой управления режимами. В части информации обычно необходимы: модель полной схемы распределительной сети, состояние выключателей (включен, выключен, выключен и запрещен к включению), уровни нагрузки на момент доаварийного режима (считается, что такие нагрузки по возможности следует обеспечить в послеаварийном режиме) и перетоки по связям. Здесь не обсуждается вопрос оценки состояния сети, подробно рассматриваемый в ряде работ. Что касается автоматики, то принято считать, что комплекс ищет решения для схемы сети после отработки автоматики повторного включения и ввода резерва и другой автоматики с учетом сложившегося после их работы состояния связей.

В настоящее время существует два основных способа организации автоматизации производственных процессов в распределительных сетях 10 кВ:

- интеграция реклоузеров 10 кВ в существующую сеть 10 кВ в местах наличия секционирующих разъединителей;
- вовлечение в процесс автоматического управления закрытых трансформаторных подстанций (ЗТП), имеющих соответствующее оборудование (ячейки с вакуумными выключателями, управляемые выключатели нагрузки).

Реклоузер — устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора.

Реклоузер способен решать задачи:

- оперативного переключения (т.е. выполнять местную и

- дистанционную реконфигурацию сети);
- определение возникновения повреждения;
- автоматического отключения поврежденного участка;
- автоматического повторного включения линии (АПВ);
- автоматического выделения поврежденного участка;
- автоматического восстановления питания на неповрежденных участках;
- автоматический ввод резервного питания (АВР).

Литература

1. Решение режимных задач электрических сетей 6-35 кВ / Ройтельман И.Г., Чешенков А.Г., Томапсевич М.Г. // Энергетик. 1990. - №9. - с. 2223.Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник.-М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Основные направления автоматизации управления в электрических сетях и на подстанциях / Семенов В.А., Маркушевич Н.С., Гольдина Л.Л. и др. М: Минэнерго СССР, 1975. - 105 с.

УДК 621.3.019.34

ВЛИЯНИЕ НЕУЧЕТА ПРОВОДИМОСТЕЙ НА РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Барановский П. Г., Мятлев Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Для расчета устойчивости электроэнергетических систем на ЭВМ используются различные программы, одна из которых MUSTANG. В качестве исходных данных по ветвям задаются параметры линий и трансформаторов: проводимости, сопротивления, коэффициенты трансформации. Рассмотрим варианты расчета устойчивости с учетом проводимостей и без.

В качестве исходной будем использовать схему сети, изображенную на рисунке 1

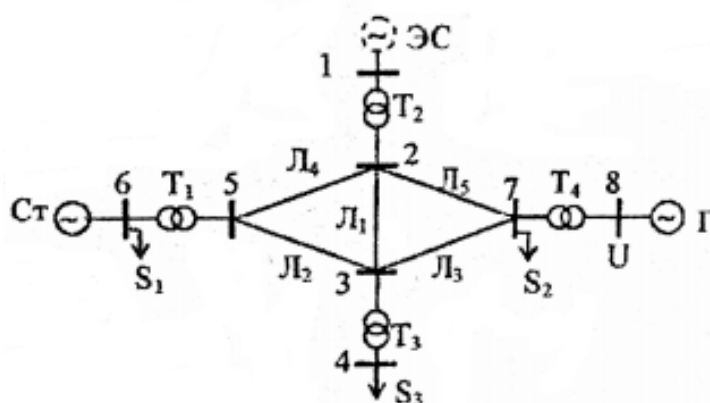


Рисунок 1 – Схема сети

Произведем расчет системы на статическую устойчивость. Под статической устойчивостью понимается способность системы восстанавливать исходный режим после малого его возмущения или режим, весьма близкий к исходному (если возмущающее воздействие не снято).

Рассчитаем исходный режим рассматриваемой системы при номинальной активной мощности станции. После того, как расчет будет выполнен, произведем подбор ЭДС генератора таким образом, чтобы напряжения в узлах были в допустимых пределах. Для определения предельной передаваемой мощности системы по условию статической устойчивости произведем серию расчетов режимов при увеличении и уменьшении мощности станции при постоянной ЭДС. Для генераторов с АРВ ПД фиксируется переходная ЭДС E' за сопротивлением X'_d . При расчетах устойчивости с учетом проводимостей и без переходная ЭДС E' принимается равным 17,5 кВ. Поэтому в результате расчета в этом узле получаем угол δ' . Фактический угол δ найдем следующим образом:

$$\delta = \delta' + \Delta \delta'$$

где угол δ' - угол сдвига вектора ЭДС E' относительно вектора напряжения системы U, а дополняющий угол

$$\Delta\delta' = \arctg \frac{(P_{\Gamma}(X_d - X_d'))}{(E')^2 + Q_{\Gamma}(X_d - X_d')}$$

Здесь P_{Γ} и Q_{Γ} – мощности станции, замеренный в узле E' .

По результатам расчета предельная передаваемая мощность с учетом проводимостей $P_{\text{пр1}} = 1160$ МВт, а без учета $P_{\text{пр2}} = 1140$ МВт

Угловые характеристики будут иметь вид:

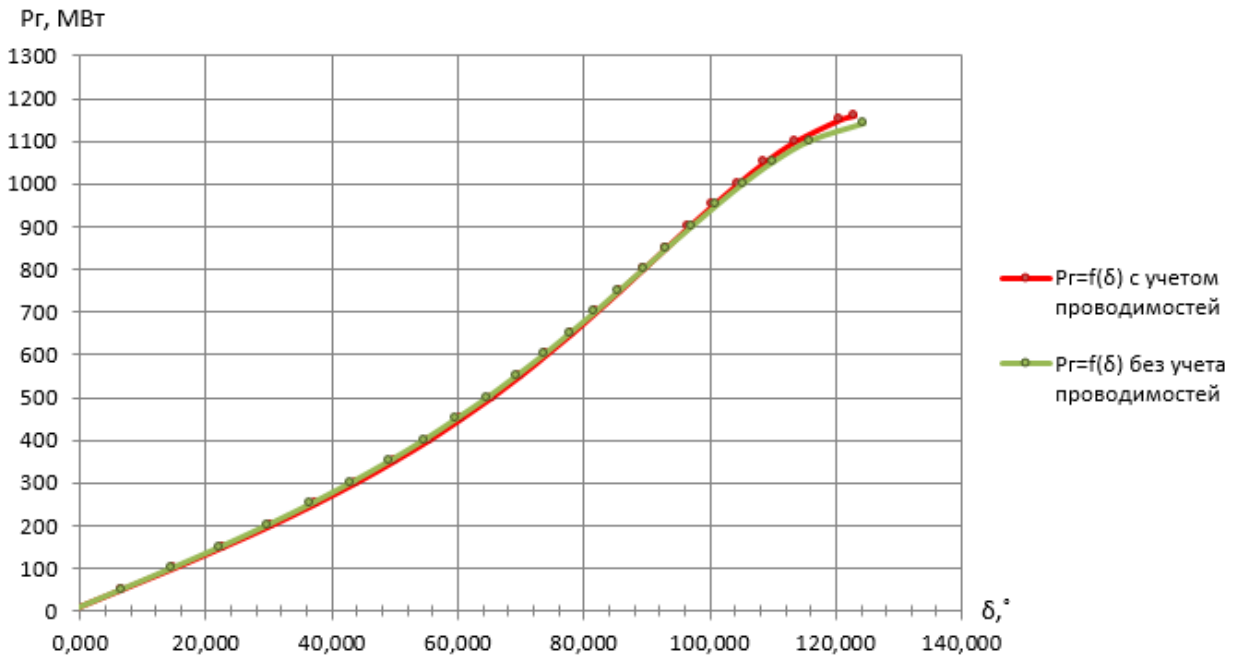


Рисунок 2 – Совмещенные угловые характеристики

Надежная и устойчивая работа электроэнергетической системы в режимах, близких к границе области устойчивости, невозможна. В этих режимах любые, даже малые возмущения или незначительные утяжеления режима будут приводить к нарушению устойчивости.

Коэффициент запаса устойчивости с учетом проводимостей

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{1160 - 400}{400} = 1,9$$

Коэффициент запаса устойчивости без учета проводимостей

$$K_p = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} = \frac{1140 - 400}{400} = 1,85$$

По результатам расчета можно сделать вывод, что неучет проводимостей практически не влияет на результаты расчета. Это можно заметить по разнице коэффициентов запаса статической устойчивости, которая весьма незначительна и составляет 2,63 %.

Далее произведем расчет системы на динамическую устойчивость. Под динамической устойчивостью понимается способность системы

восстанавливать после большого возмущения исходное состояние или состояние, практически близкое к исходному.

Для оценки динамической устойчивости электроэнергетической системы необходимо рассчитать изменение углов генераторов от времени переходного процесса. Признаком нарушения динамической устойчивости является увеличение разности между углами любых двух синхронных машин на 360 градусов и более.

В качестве возмущения моделируем трехфазное КЗ в узле 5 с последующим отключением линии 2-5. Выполним расчет переходного процесса. Определим изменение взаимных углов ЭДС всех генераторов δ_{ij} от времени, и по изменению этого угла будем судить о динамической устойчивости.

Подберем максимальное время отключения КЗ с учетом проводимостей ($t_{отк}^1$) и без ($t_{отк}^2$), при котором устойчивость системы будет сохраняться.

$$t_{отк}^1 = 0,42 \text{ с}$$

$$t_{отк}^2 = 0,424 \text{ с}$$

Изменение взаимных углов ЭДС генераторов с учетом проводимостей будет иметь следующий вид:

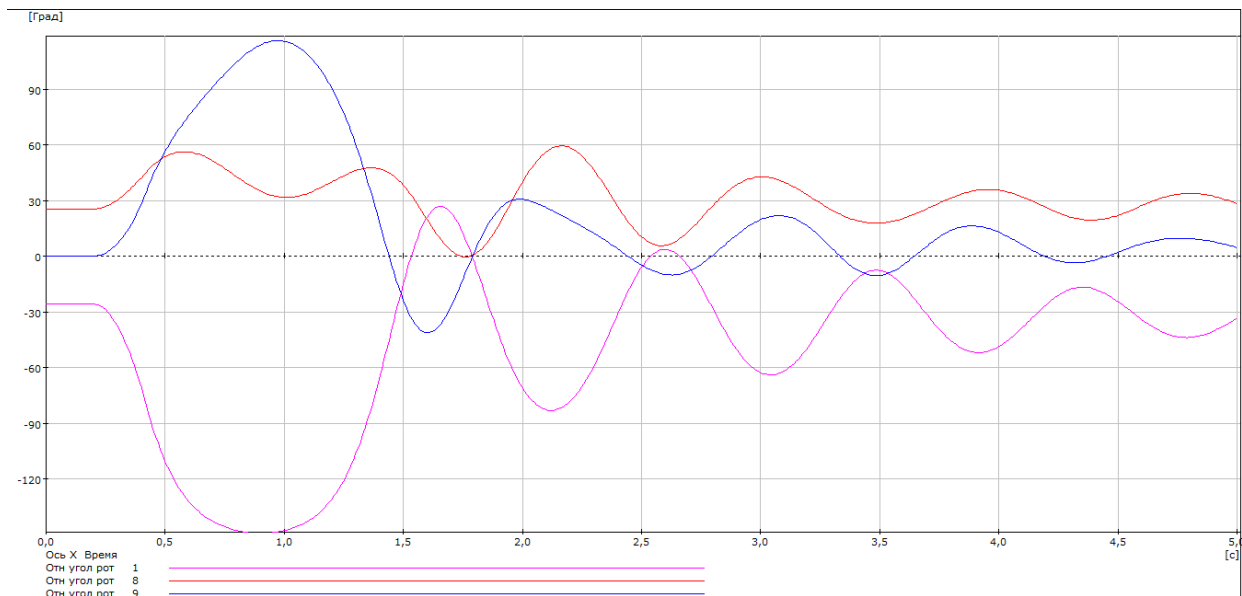


Рисунок 3 – Изменение взаимных углов ЭДС с учетом проводимостей

Изменение взаимных углов ЭДС генераторов с учетом проводимостей будет иметь следующий вид:

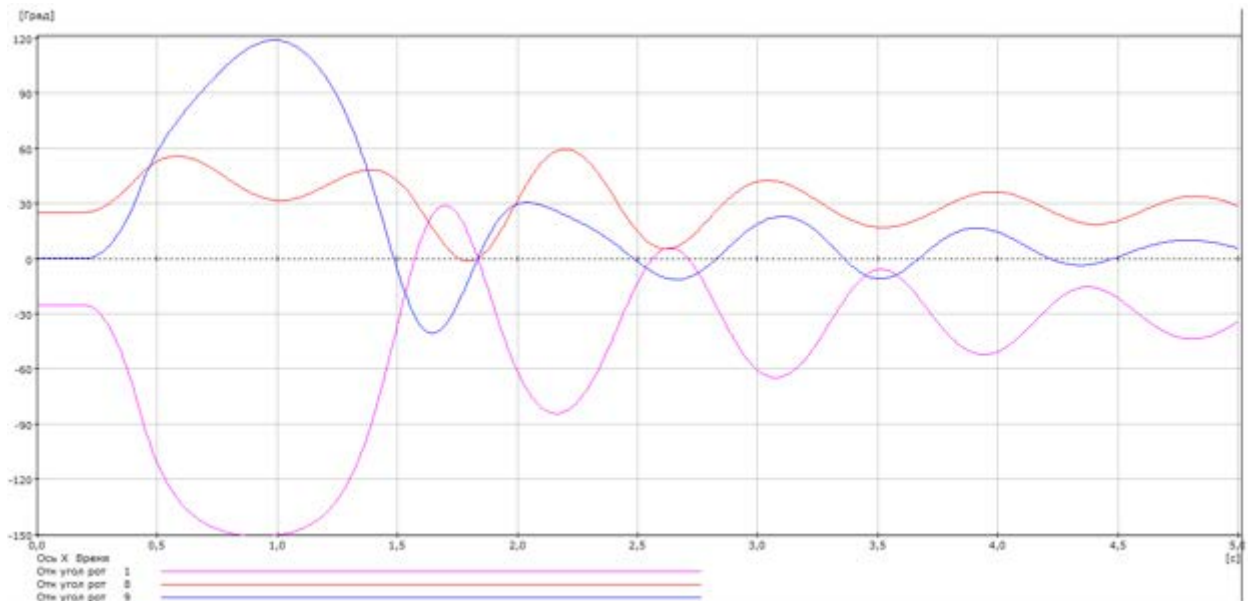


Рисунок 4 – Изменение взаимных углов ЭДС без учета проводимостей

Зависимость напряжений на шинах генератора, станции и энергосистемы от времени с учетом проводимостей будет выглядеть следующим образом:

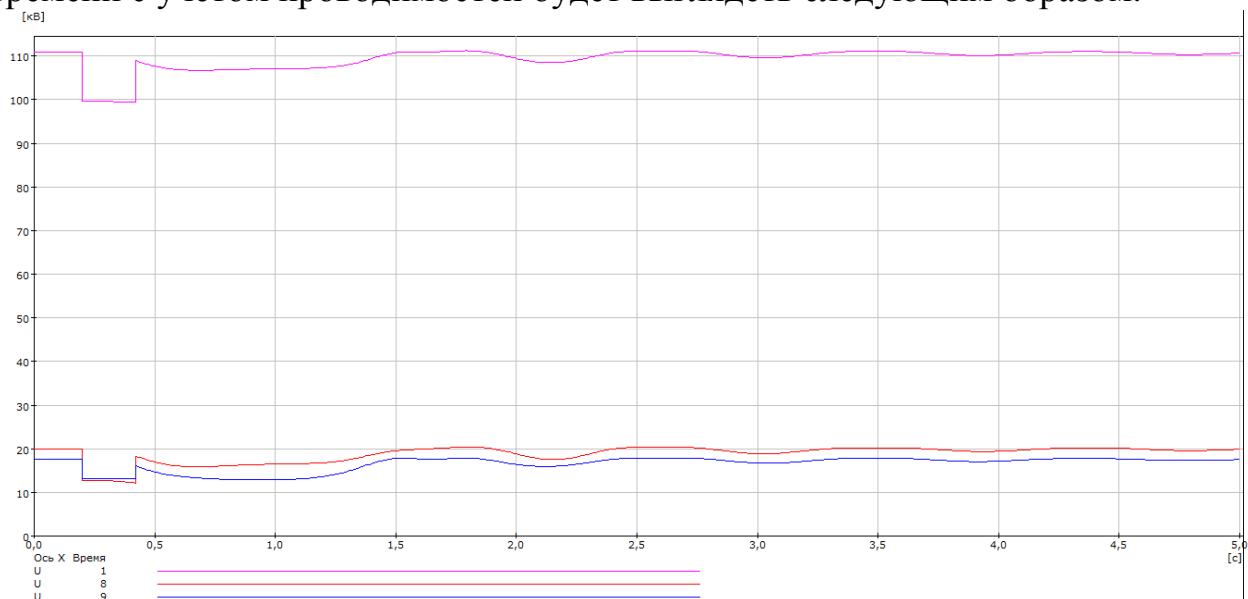


Рисунок 5 – Изменение напряжений на шинах с учетом проводимостей

Зависимость напряжения на шинах генератора, станции и энергосистемы от времени без учета проводимостей будет выглядеть следующим образом:

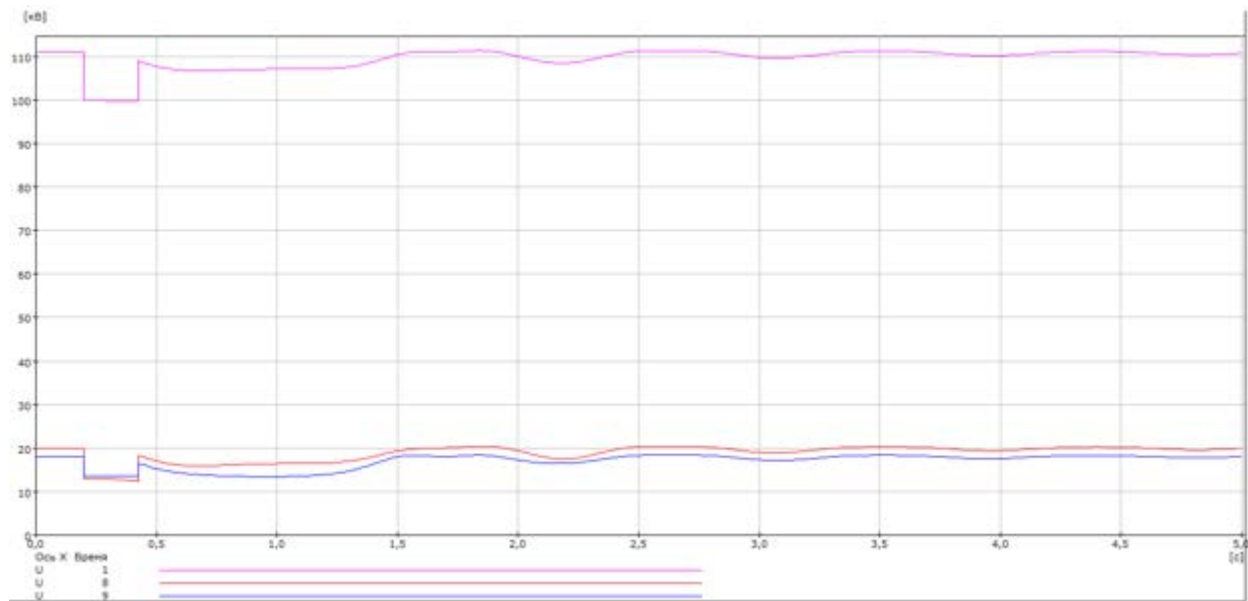


Рисунок 5 – Изменение напряжений на шинах без учета проводимостей

Из анализа результатов расчетов динамической устойчивости, можно сказать, что влияние неучета проводимостей линий и трансформаторов мало, так как время отключения КЗ отличается на 0,004 с.

Таким образом по результатам расчетов статической и динамической устойчивости можно сделать вывод, что неучет проводимостей практически не влияет на результат расчета устойчивости системы.

Литература

1. Калентионок Е.В., Филипчик Ю.Д. Исследование устойчивости электроэнергетических систем на ЭВМ. Методическое пособие к курсовой работе. – Минск: БНТУ, 2010. – 84 с.
2. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем – Минск: Техноперспектива, 2007. – 350 с.
3. Устойчивость электроэнергетических систем. Сборник задач и примеры их решений/ Е.В. Калентионок, А.А. Волков, Е.В. Мышковец, В.М. Цыганков. – Минск: БНТУ, 2007. – 131 с.

УДК 621.311.2

ЗЕЛЁНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Борщевский А.В., Булин М.Н.

Научные руководители – ассистент Попкова Н.А., доцент Зайцева Н.В.

В последние десятилетия происходит непрерывный переход от традиционных источников энергии к нетрадиционным. В связи с негативным воздействием на окружающую среду традиционных форм производства и использования энергии, а также истощением природных ресурсов, потребность в использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится актуальной. На данный момент доля ВИЭ в мировом энергобалансе составляет около 26 % [1], в то время как стратегическое планирование предусматривает увеличение их использования в мире на 50% к 2050 году.

Тогда возникает вопрос: как этот переход повлияет на экономику и эффективность производства электроэнергии?

Переход к зелёной энергетике технически осуществим и экономически выгоден, однако потребует существенных инвестиций для развития технологий. В период с 2019 по 2050 год совокупные инвестиции в мировую энергетическую систему должны будут увеличиться с 93 трлн. долл. США до 120 трлн долл. В целом в период с 2019 по 2050 год мировая экономика будет нуждаться в средних инвестициях, эквивалентных примерно 2,0% мирового ВВП в год (1,7 трлн. Долл. США), в декарбонизационные решения, включая возобновляемые источники энергии, энергоэффективность и другие технологии.

Теперь рассмотрим экономическую целесообразность инвестиций в зелёную энергетическую. При оценивании экономической выгоды от развития возобновляемой энергетической необходимо различать явные дополнительные выгоды (например, снижение общих затрат на здравоохранение вследствие уменьшения загрязнения воздуха) и выгодами, которые не обязательно являются непосредственными (например, создание новых рабочих мест). Например, по оценкам экспертов, в Южной Африке ВИЭ принесли экономике в 2014 году чистую выгоду в размере 0,8 млрд реалов (43 млн. долл. США) [2]. ВИЭ также помогли создать рабочие места во всем мире, причем глобальная занятость в этом секторе достигла, по оценкам, 8,1 миллиона человек в 2015 году (исключая крупномасштабную гидроэнергетику), а крупномасштабная гидроэнергетика поддерживает, по оценкам, 1,3 миллиона дополнительных прямых рабочих мест.

Теперь перейдём к энергетическому аспекту. Внедрение альтернативных источников энергии в нынешнюю энергосистему потребует её модернизации, так как выработка электроэнергии от традиционных источников энергии имеет «другой», нежели ВИЭ: при использовании последних производство электроэнергии имеет «переменный», т.к. значительно зависит от погодных условий и природных явлений.

Модернизация энергосистемы для интеграции в неё ВИЭ откроет следующие возможности:

а) возможность двунаправленной передачи электроэнергии: от электрической станции к потребителю и от потребителя в сеть, что обеспечит стабильность сети при распределенной генерации;

б) создание эффективных механизмов регулирования спроса на электроэнергию, направленных на снижение пиковых нагрузок, повышение гибкости сетей, оперативности реагирования на проблемы в системе;

в) улучшение взаимосвязи сетей на региональном, национальном и международном уровнях, направленное на предоставление возможности балансировки сетей, повышение их надежности и стабильности;

г) внедрению новых технологий для обеспечения надлежащей стабильности работы сети и контроля за ней (например, частоты, напряжения, баланса мощностей) при наличии значительной доли переменных ВИЭ;

д) внедрение устройств для накопления и хранения электроэнергии от переменных ВИЭ, в случае превышения электроснабжения над спросом, с целью увеличения гибкости системы и безопасности снабжения электроэнергией.

Таким электрическим сетям будущего с интегрированными в них ВИЭ дали название SmartGrid или умные сети, которые могут эффективно интегрировать действия всех подключенных к ней элементов: электростанций, потребителей и тех элементов, которые являются и производителем, и потребителем одновременно.

Таким образом, зелёная энергетика, основанная на ВИЭ, является достаточно перспективным направлением развития современной электроэнергетики. Несмотря на необходимость значительных инвестиций в разработку ВИЭ и модернизации нынешней энергосистемы, зелёная энергетика позволит в перспективе решить проблемы энергетической безопасности, сокращения выбросов CO₂ и создания новых рабочих мест.

Литература

1. Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии [Электронный ресурс] //Enerdata . – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru>. – Дата доступа: 20.03.2020.
2. Globalenergytransformation [Электронный ресурс]//IRENA, InternationalRenewableEnergyAgency. - 2018. – Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf – Дата доступа: 16.04.2020.
3. RenewableEnergyIntegrationinPowerGrids [Электронный ресурс]//IRENA, InternationalRenewableEnergyAgency. - 2015. – Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Power_Grid_Integration_2015.ashx– Дата доступа: 11.04.2020.
4. RenewableEnergyandSustainableDevelopment[Электронный ресурс]/ JanetL. Sawin, FreyrSverrisson[и другие]// WorldFutureCouncil- 2016. – Режим доступа:https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2016/08/WFC_2016_Renewable-Energy-and-Sustainable-Development.pdf – Дата доступа: 15.04.2020.

УДК 621.315.23

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Высокотемпературные сверх проводящие (ВТСП) кабельные линии переменного и постоянного тока являются инновационной разработкой, которая способна стать решением проблем современных систем электроснабжения больших городов ,таких как Токио, Нью-Йорк и т.д. Однако из-за низких температур, при которых нужно поддерживать сверхпроводник усложняют конструкцию ВТСП кабельной сети по сравнению с обычными кабелями.

Строение сверхпроводящего кабеля с «холодным» диэлектриком компании Nexans® представлено на рисунке 1 [1].

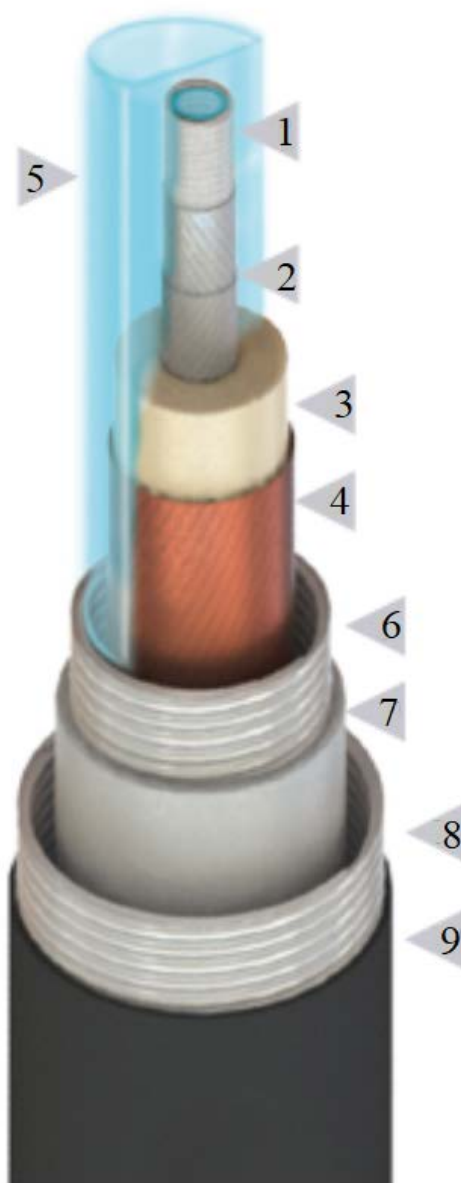


Рисунок 1 – Строение сверхпроводящего кабеля постоянного тока

1. **Формер.**

Этот элемент представляет собой спираль из нержавеющей стали, окруженную пучком проводов из меди и нержавеющей стали, обмотанных медной лентой[2]. Он предназначен для принятия на себя механических нагрузок и одновременно является основой для укладки сверхпроводящих повивов.

2. **Слой высокотемпературного сверхпроводника.**

Выполняет функцию проводника. Количество ВТС-лент или проводов зависит от номинального тока.

3. **«Холодный» диэлектрик.**

В связи с очень низкими температурами электрическая изоляция в ВТСП кабеле должна быть не только отличным диэлектриком, но и выдерживать работу при низких температурах, а также многократный тепловой цикл. Обычно для ВТСП кабелей используют бумажные ленты (целлюлоза), или полипропиленовые ламинированные бумажные ленты (PPLP), или полиимидные ленты.

4. **Медная лента.**

5. **Жидкий азот.**

Выполняет функцию теплоносителя, отводя тепло от ВТСП кабеля к охладителю.

6. **Внутренняя стенка криостата.**

7. **Суперизолятор.**

Материал, имеющий очень низкую теплопроводность для теплоизоляции ЖА и сверхпроводника от окружающей среды. Также между внутренней и внешней стенок криостата может просто использоваться вакуум.

8. **Внешняя стенка криостата.**

9. **Полиэтиленовая оболочка.**

Однако ВТСП кабель может состоять из нескольких частей, что потребует специальных элементов, которые будут соединять их. На рисунке 2 представлено сверхпроводящее кабельное соединение, которое состоит из проводника, криостата и изоляции. В качестве проводника используют медь. Поперечное сечение медного проводника имеет большую величину для того, чтобы уменьшить потери при выделении тепла в нем. Сам медный проводник припаян к сверхпроводнику. Сверхпроводящее кабельное соединение позволяет ЖА свободно перемещаться через его, а также обеспечивает теплоизоляцию участка соединения.



Рисунок 2 – Сверхпроводящее кабельное соединение

Перед установкой первых опытных образцов возник вопрос о том, как подключить сверхпроводящий кабель к существующей сети. Решением стали специальные концевые муфты (Рисунок 3), в которых сверхпроводящие ленты, которые намотаны на сверхпроводящий кабель, соединены с жилой кабеля (заключена в криостат), находящейся в концевой муфте.



Рисунок 3 – Концевая муфта

Как известно, явление сверхпроводимости наблюдается только при температурах ниже критической. Однако для удержания таких температур необходимы специальные системы охлаждения.

Для поддержания температуры высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) кабелей ниже критической очень широкое применение получил способ, заключающийся в циркуляции жидкого азота (ЖА) через кабельную систему.

Если длина сверхпроводящего кабеля имеет большую величину, то потребуется установка нескольких охлаждающих станций и систем компенсации давления.

В итоге все элементы ВТСП кабельной сети в комплексе можно рассмотреть на примере проекта по установке ВТСП кабеля между подстанциями Риверсайд и Менэндз (Олбани, Нью-Йорк) (Рисунок 4) [3].

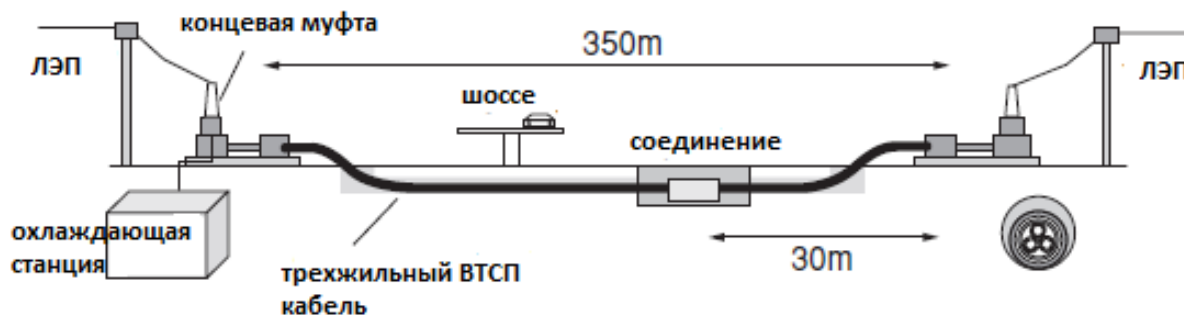


Рисунок 4 – ВТСП кабель в Олбани(Нью-Йорк)

ВТСП кабель подключается к сети с помощью концевой муфты. В начале линии находится охлаждающая станция, которая обеспечивает охлаждение кабеля по всей его длине. На расстоянии в 30 метров до конца линии установлено сверхпроводящее кабельное соединение.

В заключении можно сказать, что несмотря на сложность конструкции сверхпроводящих кабельных сетей эта технология имеет перспективы для внедрения в энергосистемы, так как ВТСП кабели имеют такие преимущества, как малые потери энергии сравнению с обычными ЛЭП, передача большой мощности при относительно низком напряжении, повышенная устойчивость сети и предотвращение каскадных отключений потребителей.

Литература

1. Nexans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nexans.de/eservice/Germany-en/navigatepub_0_-32481_-32066_2_12325/High_Voltage_DC_Cables_br_HVDC_Cables_.html. – Дата доступа: 03.07.2020.
2. Высоцкий, В. Создание силового сверхпроводящего кабеля на базе ВТСП технологий история проекта и результаты/В. Высоцкий//НАУКА И ТЕХНИКА[Электронный ресурс].–2017.– №2-Режим доступа: <http://www.kp-info.ru/images/File/2010%202%203-10.pdf>.– Дата доступа:08.10.2020.
3. Takato Masuda. High-temperature Superconducting Cable Technology and Development Trends [Electronic resource]/ Takato Masuda, Hiroyasu Yumura, Michihiko Watanabe [and others]// SEI TECHNICAL REVIEW. – Режим доступа: <https://global-sei.com/technology/tr/bn59/pdf/59-2.pdf>. – Дата доступа: 04.10.2020.

УДК 621.565.45

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Устойчивое электроснабжение населения является одной из наиболее важных задач в будущем. Высокотемпературные сверх проводящие (ВТСП) кабельные линии переменного и постоянного тока являются инновационной разработкой, которая способна стать решением проблем современных систем электроснабжения больших городов ,таких как Токио, Нью-Йорк и т.д. А в случае использования ВТСП кабельная линия (КЛ) постоянного тока приобретает новое качество передачи, которая становится управляемым элементом сети, регулирующим потокораспределение, а также элементом, обладающим функцией токоограничения, что позволяет осуществить взаимное резервирование энергорайонов мегаполисов. На рисунке 1 показаны схемы электрической сети до и после модернизации. ВТСП кабель напряжением 10 кВ соединил подстанции Herkules (где имелась дополнительная мощность) к подстанции Dellbrügge для того, чтобы удовлетворить увеличение потребности в мощности. Более того кроме замены обычного кабеля также был демонтирован силовой трансформатор 110/10 кВ, который находился в центре города Эссен.

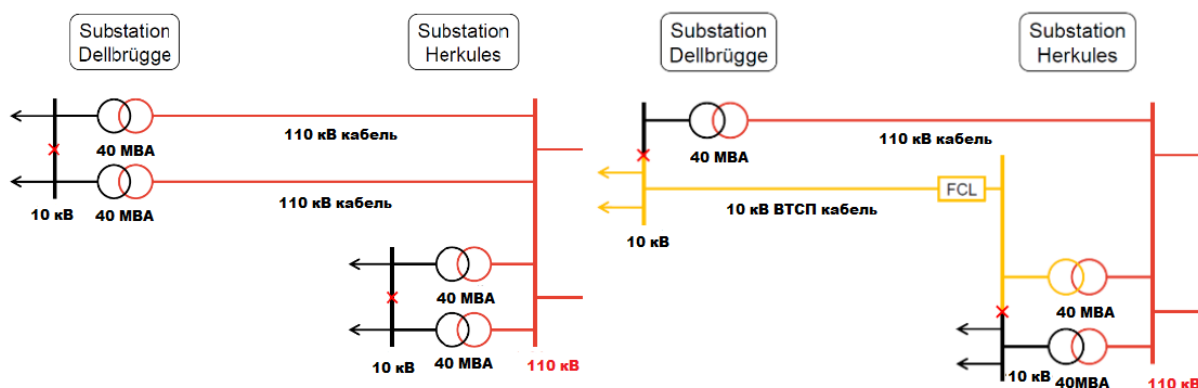


Рисунок 1 – Пример замены 110кВ кабеля ВТСП кабелями при реализации проекта Amracity

Но, как известно, явление сверхпроводимости наблюдается только при температурах ниже критической. Однако для удержания таких температур необходимы специальные системы охлаждения.

Для поддержания температуры высокотемпературных сверх проводящих (ВТСП) кабелей ниже критической очень широкое применение получил способ, заключающийся в циркуляции жидкого азота(ЖА) через кабельную систему. Поток ЖА отводит тепло от кабельной системы и рассеивает его на холодильной станции. На рисунке2 показана упрощенная схема типичной системы охлаждения ВТСП кабеля. [1]

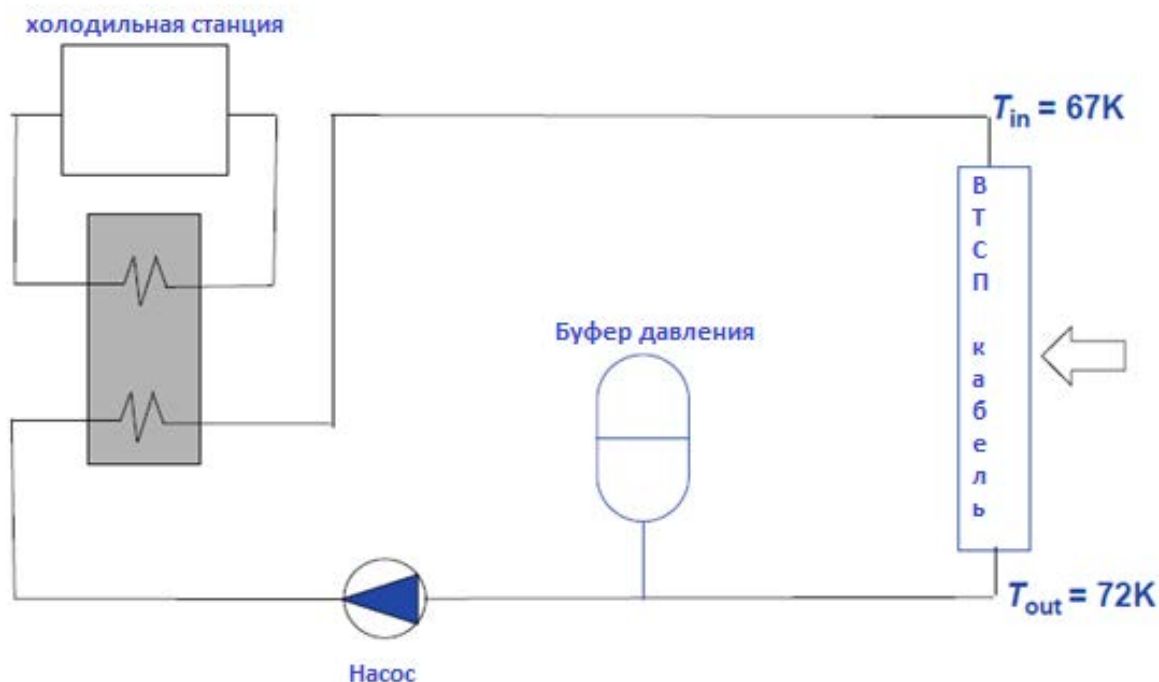


Рисунок 2 – Упрощенная схема системы охлаждения ВТСП кабеля

Холодильная система представляет собой комбинацию трех отдельных составляющих. Контур охлаждающей жидкости ЖА, поступающий в ВТСП кабель и обратно имеет системы перекачки и компенсации давления. Теплообменник рассеивает тепло из контура кабельной системы HTS в контур хладагента, из которого тепло отводится с помощью холодильной станции.

В большинстве случаев в системе охлаждения входят два отдельных контура. Один контур является частью самого холодильника, который может быть открытым или закрытым, и рабочей жидкостью которого может быть гелий, азот или газовая смесь, в то время как другой контур состоит из ЖА, циркулирующего для охлаждения кабельной системы, которая всегда является автономным замкнутым контуром с LN₂, полностью содержащимся внутри кабельного криостата[1].

Компания Messer®предложила свое решение по этому вопросу, интегрировав свой охлаждающий агрегат при реализации проекта Ampacity (рисунок 3)[2].

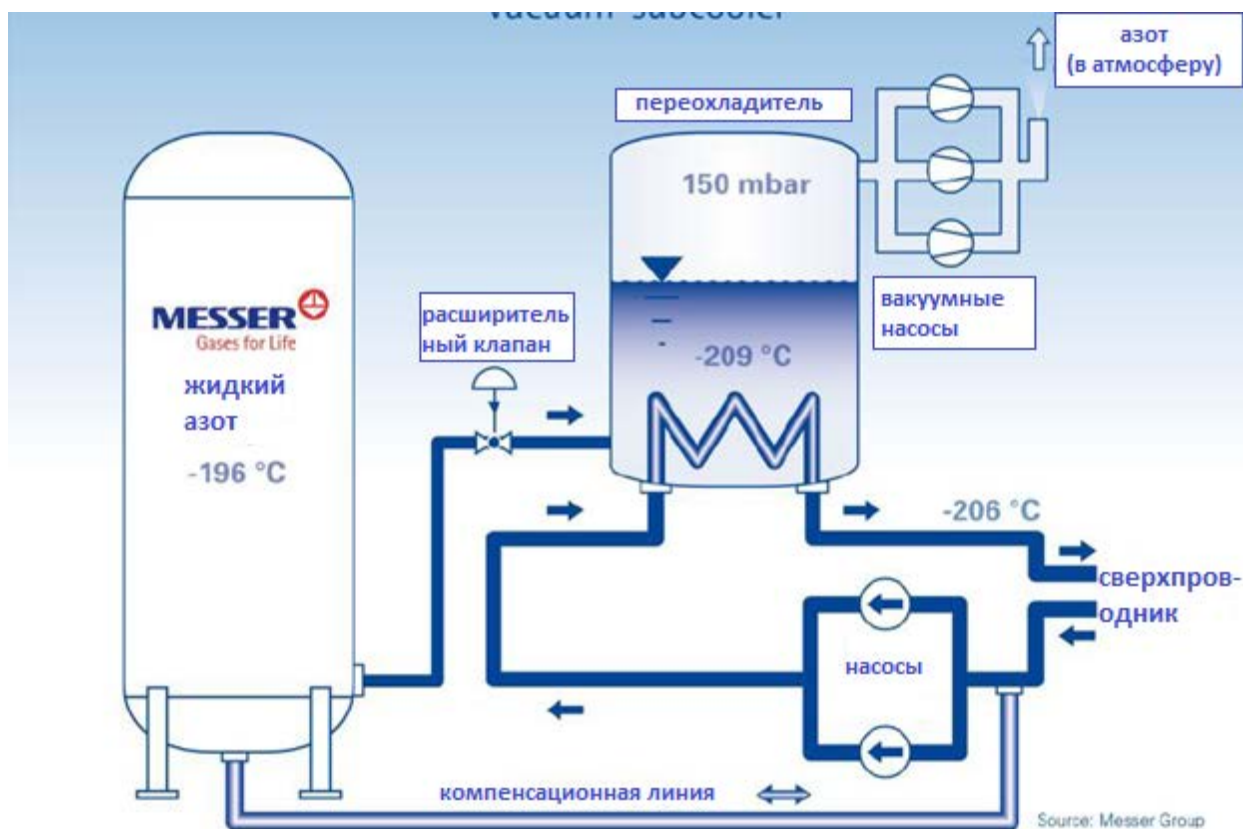


Рисунок 3 – Охлаждающий агрегат компании Messer

В качестве охлаждающего вещества и теплоносителя используется жидкий азот (ЖА), который прокачивается через сверхпроводящий кабель. ЖА, который уже прошел через кабель, охлаждается в переохладителе до температуры -206°C и снова циркулирует по нему. Передвижение ЖА происходит за счет двух установленных циркуляционных насосов, один из которых находится в рабочем состоянии, другой – в режиме ожидания. В случае неисправности происходит автоматическое переключение на резервный. Стоит отметить, что техническое обслуживание насоса производится без остановки контура.

В баке с ЖА температура составляет -196°C . Охладитель, пройдя через расширительный клапан, охлаждается до температуры -209°C и попадает в переохладитель. Температура ЖА в переохладителе составляет -209°C . ЖА в переохладителе испаряется при давлении в 150 мбар и высвобождается в атмосферу. Для работы на полную мощность работают два вакуумных насоса. При неисправности одного из них происходит автоматическое переключение на 3-й.

Стоит отметить, что теоретически контур с ЖА герметичен. Однако при эксплуатации из-за небольших утечек сброса избыточного давления, количество ЖА в системе со временем уменьшается, в следствие чего требуется время от времени пополнение контура. Обычно этот вид заправки незначителен по сравнению с циклом холодильника с открытым контуром, где охлаждающие эффекты производятся путем разгерметизации и потребления ЖА, и поэтому регулярная заправка ЖА является частью нормальных рабочих процедур [1].

Таким образом, системы охлаждения ВТСП кабелей является одной из самых важных составляющих. Поэтому они должны выполнять свою функцию даже во время непредвиденных ситуаций, таких как перебои в электроснабжении или техническое обслуживание, а сама конструкция системы охлаждения должна гарантировать бесперебойную работу даже при нарушении в работе одного из компонентов этой системы.

Литература

1. А.Р. Malozemoff. High-temperature superconducting (HTS) AC cables for power grid applications [Electronic resource]/А.Р. Malozemoff, J. Yuan, С.М. Rey [and others]// Woodhead Publishing Series in Energy: Number 65 Superconductors in the Power Grid. Materials and Applications. – Режим доступа: <https://www.elsevier.com/books/superconductors-in-the-power-grid/rey/978-1-78242-029-3>. – Дата доступа: 04.08.2020.
2. Friedhelm Herzog. Liquid Nitrogen operated Cooling Systems for Superconducting Power Lines/Friedhelm Herzog// KIT-Bibliothek[Electronic resource].-Karlsruhe,2017.–Mode of access:<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000075558/4402818>–Date of access:03.10.2020

УДК 621.039

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ – ЭНЕРГЕТИКА ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ

Бруцкий-Стемпковский Н.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

«Синтез, ядерная реакция, которая приводит в действие Солнце и звезды, является потенциальным источником безопасной, не излучающей углерода и практически безграничной энергии. Использование мощности термоядерного синтеза – цель ИТЭР, который был разработан как ключевой экспериментальный шаг между современными исследовательскими машинами для термоядерного синтеза и термоядерными электростанциями завтрашнего дня» – Заявление на официальной странице международного проекта ИТЭР.

ИТЭР (англ. ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor) – проект международного экспериментального термоядерного реактора. Проект ставит перед собой задачу демонстрации возможности коммерческого использования термоядерного реактора и решения физических и технологических проблем, которые могут встретиться на этом пути. В проекте задействовано более 30 государств мира, на территории которых проживает почти 4 миллиарда человек.

Этот проект начал разрабатываться в середине 1980-х годов. В 1992 году было подписано четырёхстороннее (ЕС, Россия, США, Япония) межправительственное соглашение о разработке инженерного проекта ITER, который был завершён в 2001 году. Место строительства, исследовательский центр Кадараш на юге Франции, было выбрано в 2005 году. В 2010 году началось строительство. 28 июля 2020 года началась сборка реактора из компонентов.

Первоначально проект ИТЭР оценивался в 5 млрд евро, а окончание строительства было запланировано на 2016 год. Сроки неоднократно переносились, и сейчас проект планируется завершить к 2025 году, а стоимость возросла до 19 млрд евро.

Прежде, чем начать разбираться в сути проекта, ответим на вопрос, где в Солнечной системе находится самое горячее место? – Нет, не на Солнце... и не в Солнце. Самая высокая температура в Солнечной системе была получена в лаборатории Калхэмского центра термоядерной энергии (рисунок 1). Здесь ежедневно производится топливо для термоядерной реакции, протекающей при температуре 150 млн градусов по Цельсию, что в 10 раз превышает температуру Солнечного ядра.[1]

По существу, Солнце предоставляет нам всю энергию, которую мы используем в повседневной жизни. Солнечный свет, тепло, нагрев поверхности планеты, образование течений в мировом океане, выпадение и испарение осадков, течение рек и даже образование залежей полезных ископаемых – нефти и природного газа – всем мы обязаны именно Солнцу.

Реакция, протекающая на Солнце, – это реакция термоядерного синтеза. Реакция слияния изотопов водорода дейтерия и трития с образованием гелия и свободного нейтрона и высвобождением большого количества энергии (около 17 МэВ)[2].



Рисунок 1 – Лаборатория по производству дейтерий-тритиевого топлива для реакций термоядерного синтеза. Калхэмский центр термоядерной энергии (CCFN)

Однако данная реакция протекает лишь при высоких значениях температуры и давления, так необходимых для преодоления Кулоновского барьера. Кулоновский барьер препятствует сближению ядер атомов для их слияния. Преодоление данного барьера возможно лишь при температурах от 1 млн градусов. Энергетический эквивалент данной температуры – около 0,1 МэВ. Но если реакция произошла – выход энергии будет больше на два порядка – в 170 раз.

Как уже было сказано, в качестве топлива выступают изотопы водорода дейтерий и тритий. С получением дейтерия на Земле проблем нет. Его относительная концентрация по отношению к водороду в морской воде составляет $(1,55 \div 1,56) \cdot 10^{-4}$. Но с тритием ситуация иная. Период его полураспада чуть больше 12 лет, поэтому в свободном виде этого изотопа на нашей планете чрезвычайно мало. В промышленных количествах тритий получают искусственно на энергетических атомных реакторах деления в реакции взаимодействия лития с образующимися при делении ядер урана нейтронами.

Как получить температуру, достаточную для реакции? Как удержать настолько разогретое вещество? Как извлечь из него энергию?

Создание условий для стабильной, управляемой и контролируемой реакции синтеза – очень сложная техническая задача, над которой бьются уже не одно десятилетие.

Плодом этого амбициозного проекта стал ТОКАМАК – ТОроидальная КАмера с МАгнитными КАтушками. Проще говоря, реакцию, происходящую на Солнце, хотят посадить в «магнитную бутылку» и поставить на службу человечеству.

Упрощённо данная «магнитная бутылка» выглядит следующим образом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Упрощённая схема ТОКАМАК

ТОКАМАК является комплексным внутренним модулем термоядерного реактора и состоит из катушек, создающих магнитное поле разной конфигурации, и предназначенных для удержания, разогретого до состояния плазмы, дейтерий-тритиевого топлива (DT-топлива).

Катушки тороидального магнитного поля (toroidal field – TF) состоят из 18 идентичных элементов (D-образные катушки), расположенных вокруг торообразной вакуумной камеры. Они создают магнитное поле вокруг плазменного тора. Катушки полоидального поля (poloidal field – PF) состоят из 6 элементов, расположенных горизонтально, и создают полоидальное поле. Назначение этого поля – отдалить плазменный шнур от стенок камеры и сжать его. Центральный соленоид (central solenoid – CS) расположен в «дырке от бублика» – вдоль оси вакуумной камеры. По сути, он представляет собой трансформатор, возбуждающий индуктивный ток в плазме. Благодаря форме камеры плазменный шнур образует кольцо. Это кольцо является вторичной обмоткой трансформатора, замкнутой в короткий виток. Ток, наведенный в плазменном шнуре, дополнительно обжимает и нагревает его [3].

Также дополнительно в конструкции ТОКАМАК имеются корректирующие катушки, расположенные внутри вакуумной камеры и предназначенные для сглаживания вспучиваний плазменного шнура.

Снаружи эта магнитная камера укрыта бланкетом. Это весьма напряжённая в тепловом и радиационном плане система токамака. Назначение бланкета – улавливать высокоэнергичные нейтроны, образующиеся при термоядерной реакции. В бланкете нейтроны замедляются, выделяя тепло, которое отводится системой охлаждения. Для удобства технического обслуживания бланкет разделён на 440 кассет. 3 кассеты бланкета модифицированы. Эти кассеты называют Test Blanket Modules (TBM). TBM покрыты изотопом лития. При столкновении нейтронов с литием происходит реакция образования дейтерия и трития – изотопов, участвующих в реакции синтеза. То есть сам реактор будет размножать для себя топливо и даже по ожиданиям разработчиков будет покрывать свои потребности. Стоит отметить, что тритий – очень дорогое вещество. По состоянию на 2010 производство одного килограмма трития обходилось в 30 миллионов долларов. А по состоянию на 2003 год общемировые запасы трития составляли всего 18 кг.

Также в ТОКАМАК будет достаточно иных подсистем:

- Вакуумная система (создание рабочей среды для реакции);
- Криогенная система (для охлаждения проводников до сверхпроводящего состояния);
- Система водяного охлаждения (трехконтурная, готова для интеграции в неё оборудования для выработки электроэнергии);
- Топливная система (подача смеси изотопов в активную зону);
- Дивертор (адсорбент для очистки плазмы от примесей).

Общая схема ТОКАМАКА будет иметь вид (рисунок 3).

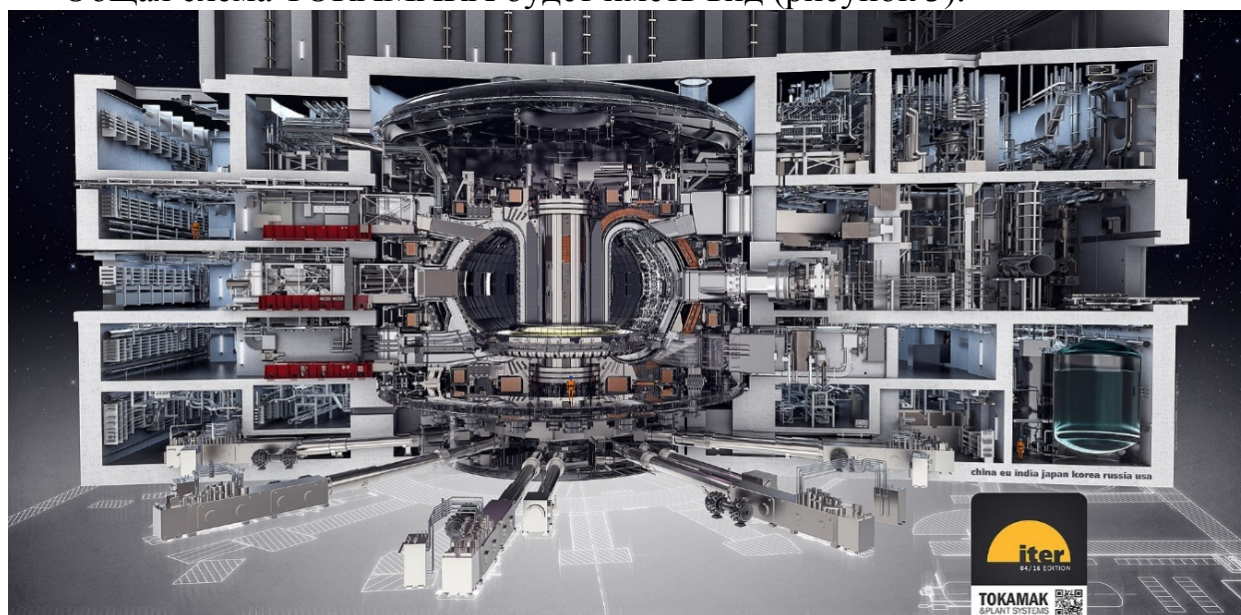


Рисунок 3 – Общий вид ТОКАМАК

Так как ТОКАМАК пока что лишь экспериментальный проект, он не будет производить электрическую энергию, хотя его собственное потребление

составит около 110 МВт. Не зря было сказано, что система охлаждения готова к интеграции в неё оборудования для выработки электроэнергии, и разработчики утверждают, что ожидаемая мощность составит около 500 МВт. Но сейчас вся она будет рассеяна в атмосферу.

Выводы

1. Термоядерный синтез безопасен в радиационном плане, он не оставляет долго распадающихся радиоактивных изотопов, не выделяет углекислый газ.

10. Его можно приравнять к возобновляемому источнику энергии, но при этом его действие непрерывно.

11. Отличается низкими затратами на землепользование, характерными для традиционной энергетики.

Артур Стэнли Эддингтон еще столетие назад сказал: «Мы иногда мечтаем, чтобы человек научился добывать и использовать энергию для своих нужд». Эта мечта существует и сегодня. Мы очень стараемся реализовать её, нам просто нужно довести работу до конца.

Литература

1. PhDIan Chapman, The Royal Institution, public lecture «Fusion: How to Put the Sun in a Magnetic Bottle». / Ian Chapman/ public lecture. 2016. Mode of access: <https://www.youtube.com/user/TheRoyalInstitution>. - Date of access: 08.06.2016.
2. Арцимович Л. А. Управляемые термоядерные реакции. – М.: Физматлит, 1961. – 467 с.
3. ITER Organization – International Thermonuclear Fusion Project. Official resource. Mode of access: <https://www.iter.org>. – Date of access: 2005.

УДК 621.311

ОПЫТ МИРОВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

На современном этапе развития энергетики наблюдается непрерывный переход от традиционных источников энергии к нетрадиционным. Принимая во внимание то, что запасы традиционных источников энергии постепенно истощаются, а их использование приводит к загрязнению атмосферы планеты, всё большее количество стран, принимают внутренние и межгосударственные соглашения о защите экологии и контроле за потреблением энергоресурсов. Поэтому тенденция использования возобновляемых источников энергии, являющихся экологически чистыми, довольно актуальна.

Ветроэнергетика является одной из наиболее быстрорастущих отраслей среди возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Общемировая установленная мощность ветрогенерации на суше и в море увеличилась почти в 87 раз за последние двадцать два года. В 1997 г. вырабатывалось 7,5 гигаватт (ГВт) энергии, но уже к концу 2019 г. показатель возрос до 623 ГВт и составлял 26% электроэнергии, вырабатываемой за счет всех ВИЭ [1, 2]. Согласно данным исследовательского центра **Wood Mackenzie** в период с 2020 по 2029 гг. ожидается ежегодный прирост в 77 ГВт [3].

К преимуществам использования ветровых установок относятся следующие:

- экологичность и безотходность;
- значительный потенциал (моделирование предполагает, что ветроэнергетика при максимально возможных мощностях способна производить почти в 17 раз больше электроэнергии, чем нужно всему человечеству в расчёте на 2018 г.; [4])
- неисчерпаемость (энергия ветра напрямую зависит от солнца);
- экономия пространства (ветряные генераторы не требуют особой инфраструктуры);
- низкие эксплуатационные расходы.
- К недостаткам ветроэнергетики относятся:
- непредсказуемость (ветер непредсказуем и мощности ветроэнергетики соответственно);
- высокая стоимость (экономическая конкурентоспособность ветроэнергетики весьма спорна, поскольку она зачастую облагается меньшим налогом);

Несмотря на все преимущества и недостатки, суммарные мощности мировой ветроэнергетики ежегодно растут. Так объём вырабатываемой энергии возрос со 180.9 ГВт в 2010 г. до 622.7 ГВт электроэнергии в 2019 г (рисунок 1) [5].

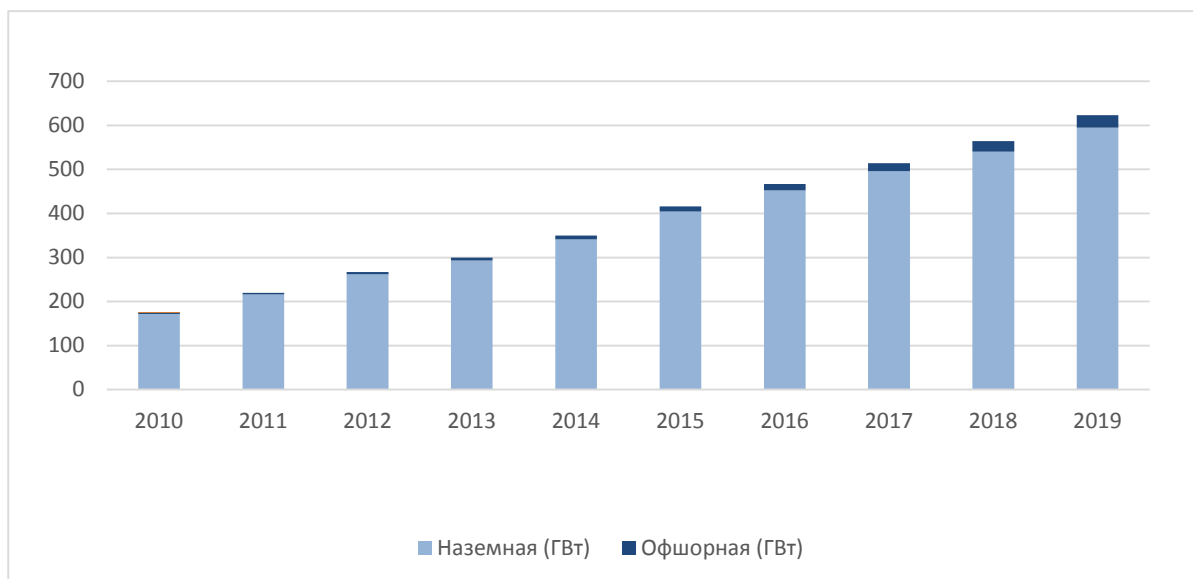


Рисунок 1 – Рост установленной мощности ветрогенерации на суше и в море

Основная часть ветровой энергии вырабатывается на суше, однако офшорная (морская) ветроэнергетика, являясь относительно новой технологией, развивается достаточно быстрыми темпами.

Принцип работы морских ветроэлектростанций (ВЭС) схож с наземными ветропарками, исключением является использование подводных коммуникаций для передачи электроэнергии. Первопроходцем офшорной ветроэнергетики является Дания, установившая в 1991 году первую в мире офшорную ВЭС Vindeby мощностью 5 МВт, состоящую из 11 ветротурбин компании Siemens (0,45 МВт каждая) [6]. По состоянию на 2019 год Дания занимала четвёртое место по установленной мощности офшорных ВЭС после Великобритании, Германии и Китая.

Мировыми лидерами по суммарной установленной мощности ВЭС на конец 2019 г. являлись Китай, США, Германия (рисунок 2).

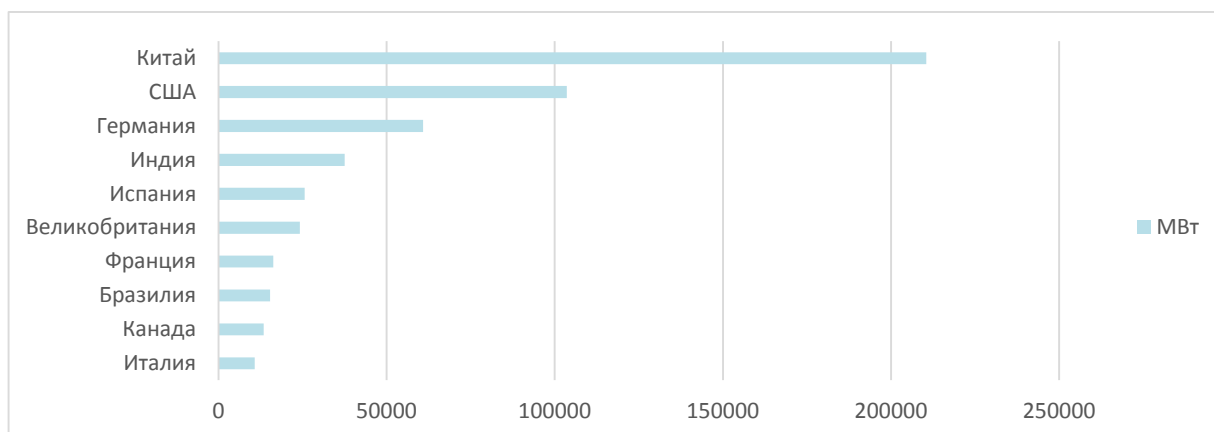


Рисунок 2 – Десятка стран с максимальной установленной мощностью ВЭС

Будущее ветроэнергетики выглядит многообещающим, поскольку сегодня отчётливо прослеживается тенденция по замене привычных энергоносителей на ВИЭ. Многие страны отказываются от углеродосодержащих видов топлива, в пользу ВИЭ, в частности ветряной энергетики. Этот факт подтверждается опытом Германии, Дании, США.

Литература

1. Wind Energy [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. - 2019. – Режим доступа: <https://www.irena.org/wind> – Дата доступа: 13.06.2020.
2. Renewable capacity highlights [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. - 2019. – Режим доступа: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/> – Дата доступа: 10.06.2020.
3. IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf?la=en&hash=B6BDF8C3306D271327729B9F9C9AF5F1274FE30B– Дата доступа: 24.06.2020.
4. The rise of the global wind power capacity [Электронный ресурс] // Wood Mackenzie. - 2020. – Режим доступа: <https://www.woodmac.com/press-releases/global-wind-power-capacity-to-grow-by-112-over-next-10-years/> – Дата доступа: 30.06.2020.
5. Studies Show Wind Power's Massive Potential [Электронный ресурс] // Inside Science. - 2012. – Режим доступа: <https://www.insidescience.org/>– Дата доступа: 22.06.2020.
6. news/studies-show-wind-powers-massive-potential – Дата доступа: 03.07.2020.
7. Vindeby Offshore Wind Farm [Электронный ресурс] // PMI, Project Management Institute. - 2018. – Режим доступа: <https://mip.pmi.org/vindeby-offshore-wind-farm> – Дата доступа: 06.07.2020.

УДК 621.311

ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Ветряной электростанцией или ветроэлектростанцией (ВЭС) называется совокупность ветряных турбин в одном и том же месте, используемая для выработки электроэнергии. Ветряные электростанции могут находиться на суше (наземные) или в море (офшорные от англ. offshore - прибрежный, береговой). В свою очередь офшорные ВЭС включают в себя прибрежные, находящиеся на небольшом удалении от берега, шельфовые, находящиеся на морском/океанском шельфе на удалении от 10 до 50 км от береговой линии, и плавающие ВЭС, устанавливаемые на подвижной платформе-пантоне (рисунок 1). Количество турбин в ветряной электростанции варьируется от двух в малой ВЭС до нескольких сотен в крупных, занимающих обширную территорию.



Рисунок 1 – слева направо: офшорные, плавающие и шельфовые ВЭС

Каждый вид ВЭС имеет свои достоинства и недостатки. Например, преимуществами наземных ВЭС являются:

- Невысокая стоимость по сравнению с офшорными ВЭС.
- Меньшее расстояние между ветряком и потребителем, что позволяет уменьшить падение напряжения в сети.
- Быстрота установки, составляющая в среднем около 2 месяцев.
- Недостатки:
- Данный тип ВЭС не производит энергию круглый год из-за изменчивости скорости ветра.
- Трудность интеграции в энергосистемы в виду того, что скорость ветра непостоянна.

Офшорные ВЭС в свою очередь:

- Обладают большими размерами по сравнению с наземными турбинами, что позволяет захватывать более сильные потоки ветра и, как следствие, вырабатывать больше энергии.
- Вырабатывают больше энергии за счёт того, что в море скорость ветра выше, чем на суше.

- Не имеют препятствий (горы, холмы, здания), физически ограничивающих или блокирующих порывы ветра.
- Недостатки выражаются в следующем:
- Офшорные ВЭС являются дорогостоящими как в строительстве, так и в обслуживании из-за своей удалённости и труднодоступности. Затраты на ремонт повышаются в связи с поломками, вызванными действием сильных ветров, коррозией и износом несущих конструкций.
- Влияние морских ВЭС на экосистему и миграцию птиц еще полностью не изучено.
- Оффшорные ветряные электростанции, построенные около береговой линии могут приносить убытки местному населению, косвенно влияя на стоимость собственности и прибыльность туризма [1].

Наиболее мощные из современных действующих ВЭС расположены в Китае, США, Индии и Великобритании. JiuquanWindPowerBase, так же известная как Ганьсу - самая большая ветряная электростанция в мире с запланированной установленной мощностью 20 ГВт. ВЭС располагается в провинциях Цзюцюань, Внутренняя Монголия, Хэбэй, Синьцзян, Цзянсу и провинции Ганьсу, Китай. На период конца 2019 – начала 2020 гг. ВЭС вырабатывала 7.965 ГВт энергии, что составляло около 40% от запланированной установленной мощности [2].

Крупнейшие действующие офшорные ВЭС принадлежат Великобритании. Это Hornsea 1 с установленной мощностью 1.22 ГВт и 174 турбинами Siemens SWT-7.0-154, East Anglia ONE с мощностью 714 МВт и 102 турбинами Siemens SWT-7.0-154, Walney Extension, вырабатывающая 659 МВт с 40 турбинами MHI-Vestas 8.25 МВт и 47 Siemens Gamesa 7 МВт [3].

Великобритания является страной с самой высокой установленной мощностью офшорных ВЭС в Европе, на нее приходится 44% всех морских ветроэнергетических установок. Далее следуют Германия (34%), Дания (7%), Бельгия (6,4%) и Нидерланды (6%)

Динамика установленной мощности офшорных ВЭС по странам представлена на рисунке 2 [4].

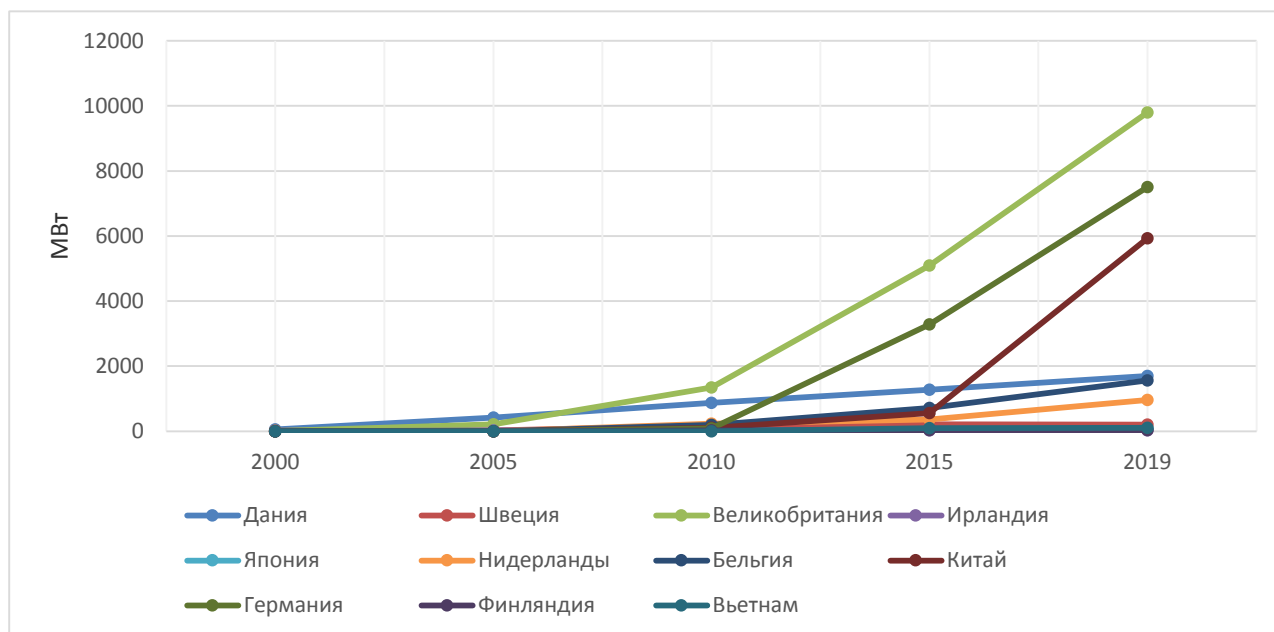


Рисунок 2 – Динамика установленной мощности офшорных ВЭС некоторых стран

Таким образом можно сказать, что благодаря своим преимуществам доля ВЭС в мировом энергетическом секторе постепенно возрастает. Особенно активно развивается офшорная ветроэнергетика прибрежных стран, таких как Великобритания, Германия, Китай, Бельгия и т.д. В сверен наземных ВЭС лидируют США и Китай.

Литература

1. Offshore And Onshore Wind Farms: What Are The Pros And Cons? [Электронный ресурс] // NESGlobalTalent. – 2019. – Режим доступа <https://www.nesgt.com/blog/2019/07/offshore-and-onshore-wind-farms> – Дата доступа: 19.07.2020.
2. GansuWindFarm [Электронный ресурс] // AccessEngineeringNewswithin. - 2020. – Режим доступа: <https://www.accessengineeringblog.com/gansu-wind-farm/> – Дата доступа: 24.07.2020.
3. Listoffshorewindfarms [Электронный ресурс] // Wikipedia. - 2020. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms#cite_note-2 – Дата доступа: 26.07.2020.
4. WHATISOFFSHOREWINDENERGY [Электронный ресурс] // Iberdrola. - 2020. – Режим доступа: <https://www.iberdrola.com/environment/how-does-offshore-wind-energy-work> – Дата доступа: 08.08.2020.

УДК621.311

РАЗРАБОТКА БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Бусел Е. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

В силу одновременности процессов производства и потребления электроэнергии, в энергосистемах в любой момент установившегося режима имеется соответствие между приходной частью баланса мощностей (суммарной мощностью электрических станций за вычетом расходов на собственные нужды) и его расходной частью (суммарной мощностью нагрузок и потерями мощности в сети) с учетом обменных перетоков мощностей с соседними энергосистемами.

Назначением баланса мощности является выявление типа проектируемой энергосистемы. Обычно проектируемая система содержит не менее двух источников питания, один из которых — проектируемая электростанция (может быть несколько) и второй — узел связи с соседними энергосистемами (балансирующий узел). Разработка баланса мощности необходима для того, чтобы облегчить разработку конфигурации вариантов развития электрической сети. Особенно важен при этом учет баланса мощности для максимального режима.

$$P_{\text{БАЛ}} = \Sigma P_{\text{НАГР}} + \Sigma \Delta P + \Sigma \Delta P_{\text{СН}} - \Sigma P_{\text{Г}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{БАЛ}}$ — мощность балансирующего узла;

$\Sigma P_{\text{НАГР}}$ — суммарная мощность нагрузки,

$\Sigma \Delta P$ — суммарные потери;

$\Sigma \Delta P_{\text{СН}}$ — потери на собственные нужды;

$\Sigma P_{\text{Г}}$ — суммарная мощность генерации.

Энергосистема может быть:

- **дефицитной**, если суммарная мощность потребителей электроэнергии и потерь мощности в сети превышает генерирующую мощность электростанций рассматриваемого района сети. В этом случае недостаток мощности покрывается электростанциями соседнего района через балансирующий узел ($P_{\text{бал}} > 0$).
- **избыточной**, если суммарная мощность потребителей электроэнергии и потерь мощности в сети меньше генерирующей мощности электростанций рассматриваемого района сети. Избыток мощности при этом выдается в соседний район через балансирующий узел ($P_{\text{бал}} < 0$).
- **сбалансированной**, если суммарная мощность потребителей электроэнергии и потерь мощности в сети примерно равны генерирующей мощности электростанций рассматриваемого района сети. Резервирование мощности нагрузок при аварийном отключении генераторов электростанций рассматриваемого района сети осуществляется через балансирующий узел ($P_{\text{бал}} \approx 0$).

При разработке вариантов развития дефицитной энергосистемы потребители условно разделяются на два географических района: ближайший к

проектируемой электростанции и питающийся от нее район и другой район-тяготеющий к балансирующему узлу (узлу связи с соседней системой). При этом следует учитывать, что в дефицитной энергосистеме следует особое внимание уделить фактору надежности, так как при аварийном останове блока на электростанции питание большого числа потребителей должно обеспечиваться от балансирующего узла.

В случае дефицитности системы целесообразно проверить баланс мощности для послеаварийного режима. В качестве расчётного послеаварийного режима рекомендуется рассматривать аварийное отключение наиболее крупного генератора в системе и наиболее тяжёлые нормативные возмущения.

В сбалансированной энергосистеме электрическая сеть обычно строится по принципу питания потребителей от проектируемой электростанции по кратчайшим электрическим связям. Связь с балансирующим узлом предусматривается для надёжности.

Избыточная система проектируется с учетом выдачи избытка мощности в соседнюю энергосистему. При этом электростанция должна иметь надежную связь с балансирующим узлом по кратчайшему пути. При больших избытках мощности в проектируемой энергосистеме следует, наряду с другими вариантами, рассмотреть возможность передачи мощности по линии непосредственной связи электростанции с балансирующим узлом. Кроме того, при разработке вариантов развития сети в избыточной энергосистеме требуется рассмотрение не только режима максимальных, но и режима минимальных нагрузок, так как минимальный режим может оказаться более тяжелым. В связи с этим в избыточной системе обязательно составляются балансы для максимального и минимального режимов работы потребителей. Разработка баланса мощностей для минимального режима в остальных случаях также рекомендуется ввиду того, что в минимальном режиме обычно выполняются ремонты основного генерирующего оборудования электростанций.

При составлении баланса активных мощностей районы потребления, содержащие мелкие подстанции, эквивалентируются и их суммарная мощность приводится к шинам наиболее крупных подстанций данного района с учётом потерь мощности в распределительной электрической сети. Эта подстанция становится питающей для района местной сети и, в свою очередь, получает питание по системообразующей сети наиболее высокого класса напряжения, чем в местной сети. Этот прием существенно уменьшает объем задачи проектирования сети, так как позволяет независимо решать вопросы разработки конфигурации системообразующей и распределительной сетей.

Перед составлением баланса мощности ориентировочно определяются классы напряжения системообразующей и местной сетей с целью выявления уровней потерь мощности.

Баланс по реактивной мощности целесообразно составлять для того, чтобы определить потребность в средствах компенсации реактивной мощности в проектируемой энергосистеме. При этом необходимо обеспечить соответствие между обменными потоками активной и реактивной мощностей с соседней

энергосистемой, следует обеспечить по возможности более высокий коэффициент мощности обменного потока.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под редакцией С. С. Рокотяна, И. М. Шапиро. М.: Энергоатомиздат, 1985.

УДК621.311

**МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ
КОЭФФИЦИЕНТА МАКСИМУМА**

Бусел Е. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Электрическая нагрузка представляет собой мощность, потребляемую электроприемниками (ЭП) или передаваемую по элементам системы электроснабжения (СЭС) в определенный момент времени. Для ЭП она обусловлена электроэнергией, потребляемой из сети и преобразуемой в другие виды энергии. Нагрузка линий электропередачи, силовых трансформаторов и других элементов электрической сети СЭС вызвана передачей электроэнергии от источников питания к ЭП. При этом электрическая нагрузка в каждый момент времени определяется мощностью некоторого числа включенных в работу ЭП, присоединенных к электрическим сетям разных напряжений.

Естественное изменение электрических нагрузок во времени обусловлено свойствами технологических процессов, в обеспечении которых участвует множество разнообразных электроприемников с разными графиками нагрузок. В системе электроснабжения каждый электроприемник в определенный момент времени потребляет некоторую активную мощность, т. е. его электропотребление является случайной функцией времени. Суммарная нагрузка потребителя электроэнергии в каждый момент времени складывается из нагрузок электроприемников, используемых на предприятии в рассматриваемое время.

При расчетах электрооборудования и систем электроснабжения применяется ряд безразмерных коэффициентов, позволяющих представить режимы электропотребления и графики электрических нагрузок электроприемников. К ним относятся коэффициенты использования, включения, загрузки, максимума и спроса [1].

Для того чтобы пояснить сущность этих коэффициентов, необходимо использовать графики электрических нагрузок, которые отражают зависимость потребляемой мощности или тока от времени. Они могут быть построены за некоторый период: технологический цикл, смену, сутки, год и т. д. Графики нагрузок производственных объектов зависят от характера технологического процесса и периодически повторяются. Поэтому для потребителей электроэнергии существуют типовые графики нагрузок.

Различают графики нагрузок по активной и реактивной мощностям или по току. Иногда строятся графики по полной мощности, которые по своей конфигурации идентичны графикам по току.

Рассмотрим простейший график нагрузки электроприемника по активной мощности за технологический цикл, состоящий из двух ступеней, показанный на рисунке 1.

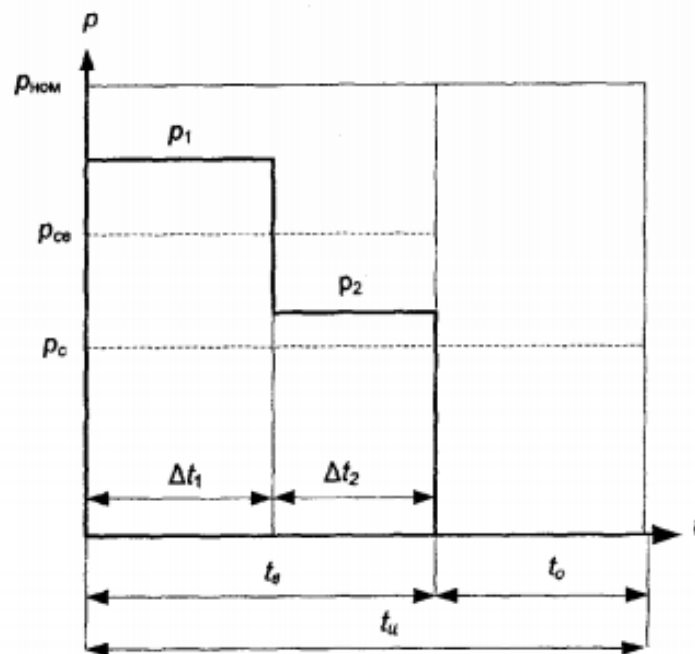


Рисунок 1 – График электрической нагрузки электроприемника

Коэффициент максимума представляет собой отношение максимальной нагрузки к средней за рассматриваемый период. Он связывает максимальную потребляемую мощность и среднюю нагрузку группы электроприемников. Для отдельных электроприемников этот коэффициент, как правило, не применяется.

Коэффициент максимума по активной мощности определяется по формуле

$$K_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{P_C} \quad (1)$$

где P_{MAX} — максимальная потребляемая активная нагрузка за рассматриваемый период;

P_C — средняя активная нагрузка за рассматриваемый период.

Коэффициент максимума по реактивной мощности можно найти по аналогичному выражению:

$$K_{MAX\ p} = \frac{Q_{MAX}}{Q_C} \quad (2)$$

где Q_{max} — максимальная потребляемая реактивная мощность за рассматриваемый период;

Q_C - средняя реактивная нагрузка за то же время.

Значения K_{MAX} и $K_{MAX\ p}$ всегда больше или равны единице. При ровных графиках активной и реактивной нагрузок $K_{MAX} = 1$ и $K_{MAX\ p} = 1$.

Литература

- Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. :Энергоатомиздат, 1984, - 478с.

УДК 621.3

РАСЧЁТ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА МАТРИЧНЫМ МЕТОДОМ

Ващук К. В., Жаркова Д. О., Мартынович А. Э., Щубрет Е. А.

Научный руководитель – доцент Новиков С. О.

С появлением ЭВМ и их широким применением для решения сложных математических задач были разработаны специальные топологические методы расчета сложных электрических цепей на основе теории графов и матриц.

Для расчета электрической цепи (Рис. 1), согласно методу контурных токов, можно предложить следующий алгоритм автоматизации расчетов режимных параметров и проверки достоверности полученных результатов в системе программирования MathCad:

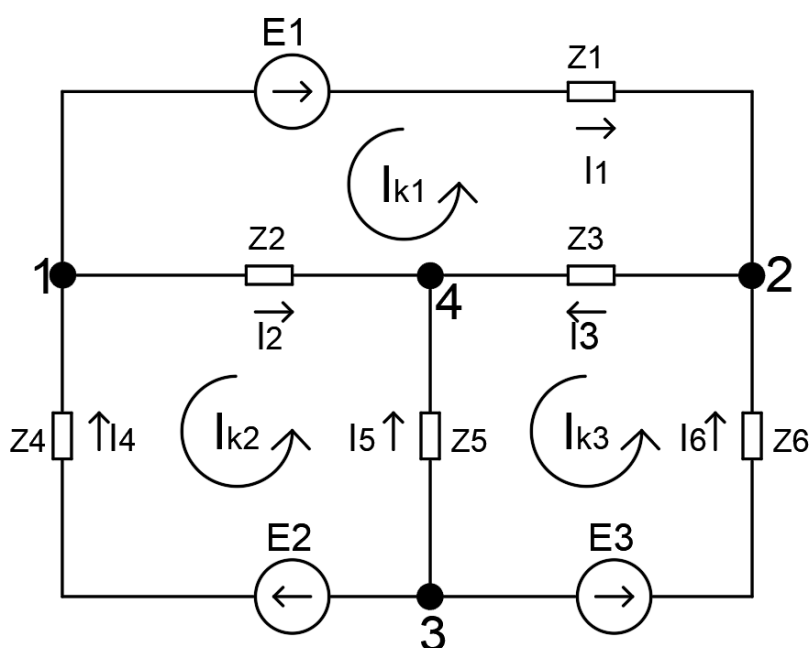


Рисунок 1 – Схема исследуемой электрической цепи.

1. Параметры элементов схемы задаются в матричной форме:

- | | |
|----------|--|
| ORIGIN – | Команда для нумерации матриц с 1 строки и 1 столбца |
| j – | Комплексная величина |
| E – | Матрица-строка ЭДС (задается произвольно) |
| Z – | Диагональная матрица полных сопротивлений ветвей
(Задается произвольно) |
| Y – | Матрица проводимостей ветвей |

$$\begin{aligned} \underline{\underline{ORIGIN}} &:= 1 \quad j := \sqrt{-1} \\ E &:= \left(-137e^{-j \cdot 54deg} \quad 0 \quad 0 \quad 93e^{j \cdot 107deg} \quad 0 \quad 27e^{j \cdot 54deg} \right)^T \cdot V \\ Z &:= \begin{pmatrix} 28 + 31j & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 61 - 42j & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 46 + 22j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 52 - 34j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 63 + 18j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 34 - 52j \end{pmatrix} \cdot \Omega \\ Y &:= Z^{-1} \end{aligned}$$

2. Выбираются положительные направления токов в ветвях исходной схемы. В соответствии со структурой схемы и выбранными направлениями токов строится направленный граф схемы. Для графа составляются матрицы соединений A и B.

$$\underline{\underline{A}} := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Если матрицы соединений [A] и [B] составлены верно, то должно выполняться условие: $[B] \cdot [A]^T = 0$.

$$\underline{\underline{C}} := A \cdot B^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3. Создадим матрицу контурных сопротивлений:

$$Z_k := B \cdot Z \cdot B^T = \begin{pmatrix} 135 + 11j & -61 + 42j & -46 - 22j \\ -61 + 42j & 176 - 58j & -63 - 18j \\ -46 - 22j & -63 - 18j & 143 - 12j \end{pmatrix} \Omega$$

4. Создадим матрицу контурных ЭДС:

$$E_k := B \cdot E = \begin{pmatrix} 80.527 - 110.835j \\ 27.191 - 88.936j \\ 15.87 + 21.843j \end{pmatrix} V$$

5. Определим контурные токи:

$$I_k := Z_k^{-1} \cdot E_k = \begin{pmatrix} 1.122 - 1.595j \\ 1.004 - j \\ 1.319 - 0.391j \end{pmatrix} A$$

6. Определим токи ветвей:

$$I := B^T \cdot I_k = \begin{pmatrix} -1.122 + 1.595j \\ 0.118 - 0.595j \\ 0.196 + 1.204j \\ -1.004 + j \\ -0.314 - 0.609j \\ 1.319 - 0.391j \end{pmatrix} A$$

7. Определим токи ветвей в показательной форме. Создадим матрицу строку модулей значений токов и матрицу строку значений углов токов.

$$\left(\begin{array}{c} \vec{I} \\ |I| \end{array} \right)^T = (1.951 \quad 0.607 \quad 1.22 \quad 1.418 \quad 0.685 \quad 1.376) A$$

$$\arg(I)^T = (125.1 \quad -78.8 \quad 80.7 \quad 135.1 \quad -117.3 \quad -16.5) \cdot deg$$

8. Определяем напряжения на ветвях схемы:

$$U_v := Z \cdot I - E = \begin{pmatrix} -0.355 - 100.955j \\ -17.807 - 41.249j \\ -17.452 + 59.706j \\ 8.969 - 2.769j \\ -8.838 - 44.018j \\ 8.614 - 103.724j \end{pmatrix} V$$

9. Определим напряжения на ветвях в показательной форме. Создадим матрицу строку модулей значений напряжений и матрицу строку значений углов напряжений:

$$\left(\begin{array}{c} \vec{U}_v \\ |U_v| \end{array} \right)^T = (100.96 \quad 44.93 \quad 62.2 \quad 9.39 \quad 44.9 \quad 104.08) V$$

$$\arg(U_v)^T = (-90.2 \quad -113.3 \quad 106.3 \quad -17.2 \quad -101.4 \quad -85.3) \cdot deg$$

10. По значениям ЭДС и токов в соответствующих ветвях определим значения мощностей источников энергии:

$$k := 1..6$$

$$PE_k := \operatorname{Re}(E_k \cdot \bar{I}_k) \quad QE_k := \operatorname{Im}(E_k \cdot \bar{I}_k)$$

$$PE^T = (267.2 \ 0 \ 0 \ 116.275 \ 0 \ 12.379) W$$

$$QE^T = (4.083 \ 0 \ 0 \ -62.134 \ 0 \ 35.017) W$$

$$\sum PE = 395.854 W \quad \sum QE = -23.035 W$$

11. По рассчитанным значениям токов и напряжений определяем мощность нагрузки в ветвях схемы:

$$P_k := \operatorname{Re}(U_k \cdot \bar{I}_k) \quad Q_k := \operatorname{Im}(U_k \cdot \bar{I}_k)$$

$$P^T = (106.5 \ 22.4 \ 68.5 \ 104.5 \ 29.6 \ 64.3) W$$

$$Q^T = (117.9 \ -15.5 \ 32.7 \ -68.3 \ 8.5 \ -98.4) W$$

$$\sum P = 395.854 W \quad \sum Q = -23.035 W$$

Вывод: Анализ полученных результатов режимных параметров и генерируемой мощности показал, что расчет выполнен верно, так как суммарная мощность источников энергии равна суммарной потребляемой мощности нагрузки – условие баланса мощностей выполнено.

Литература

1. Полешук Н.Н. AutoCAD 2004. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
2. Гурский Д.А., Турбина Е.С. Вычисления в MathCad 12. – СПб.: Питер, 2006. – 544 с.
3. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в MathCad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.

УДК 621.3.051.025

**НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА
НАПРЯЖЕНИЯ И ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА**

Ващук К. В., Жаркова Д. О.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н. С.

Вольтодобавочный трансформатор – это электрический трансформатор, вторичная обмотка которого соединена с линией последовательно. Вторичная обмотка управляющего трансформатора является источником энергии для первичной обмотки вольтодобавочного. Выходная обмотка управляющего трансформатора соединена с первичной обмоткой вспомогательного трансформатора таким образом, что напряжение, подаваемое на линию, находится в фазе с источником питания.

Повышающие напряжение трансформаторы, второе название которых линейные регуляторы, предназначены для изменения величины напряжения в отдельных линиях или в группе линий. Это позволяет улучшить режим работы сетей, использующих трансформаторы без РПН. Линейные регуляторы создают добавочную электродвижущую силу в сети, которая изменяет вектор напряжения сети путем сложения с ним. На рис. 1 представлена схема повышающего напряжение трансформатора.

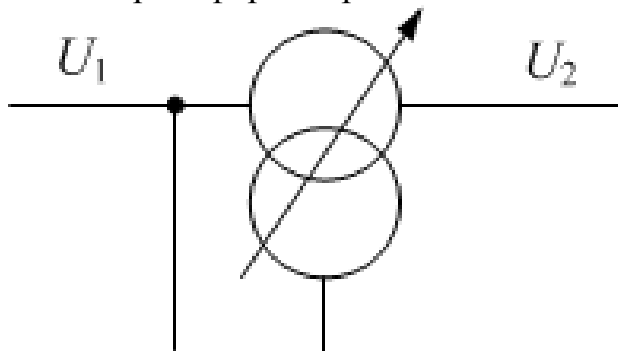


Рисунок 1 – Схематическое изображение линейного регулятора

Установка вольтодобавочного трансформатора позволяет выровнять напряжение в электросети; устранить асимметрию напряжения на определенном участке цепи; уменьшить опасные последствия выгорания нулевого проводника

Линейный регулятор представляет собой трехфазное устройство повышения напряжения, работающее по схеме автотрансформатора.

Изменяя ветви на управляющем трансформаторе, можно изменять величину первичного напряжения и таким образом регулировать напряжение потребителя. Мощность управляющего трансформатора составляет лишь часть мощности основного трансформатора.

Преимущество вышеупомянутой системы заключается в том, что управляющее оборудование не зависит от главного трансформатора, так что выход из строя первого не приведет к выходу из строя второго.

Схема и конструкция

Более подробная схема линейного регулятора, которая также иллюстрирует принцип коммутации контактов, приведена на рис. 2.

Он показывает регулировочный трансформатор 1 и последовательный трансформатор 2. Питающей обмоткой является первичная обмотка 3 управляющего трансформатора. Он может быть переключен как на фазу А – 0, так и на линейное напряжение (А – В, А – С). Вторичная обмотка 4 управляющего трансформатора использует такое же коммутационное устройство 5, как и трансформатор с регулированием под нагрузкой.

Один из концов первичной обмотки 6 последовательного трансформатора соединен со средней точкой вторичной обмотки управляющего трансформатора. Другой конец первичной обмотки присоединяется к переключающему устройству. Вторичная обмотка 7 последовательного трансформатора соединена последовательно с обмоткой силового трансформатора. Дополнительная ЭДС в обмотке 7 добавляется к ЭДС силового трансформатора и изменяет ее.

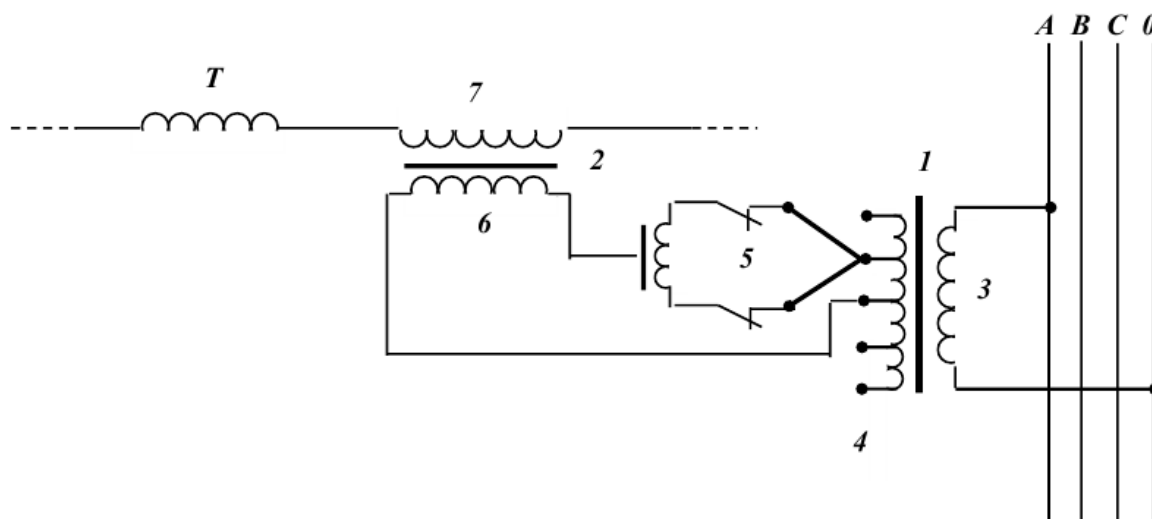


Рисунок 2 – Принцип работы вольтодобавочного трансформатора

На рис. 3 показана трехфазная схема подключения повышающего напряжения трансформатора к сети.

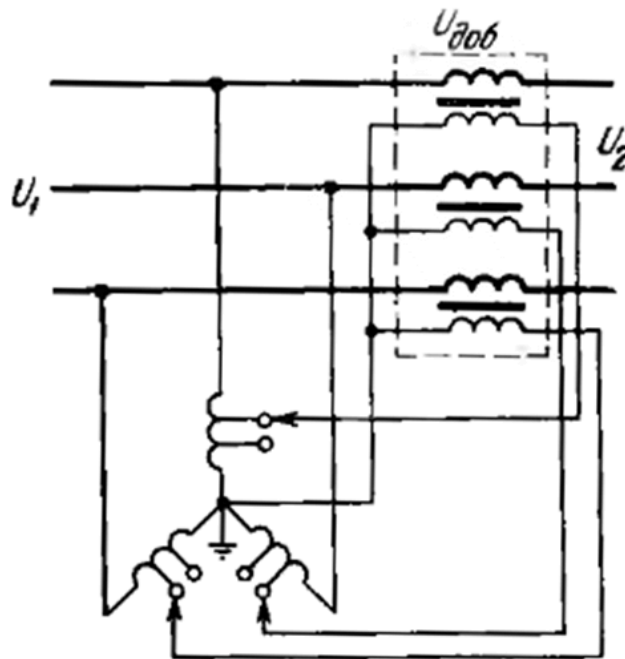


Рисунок 3 – Схема включения вольтодобавочного трансформатора в сеть

Линейные регуляторы работают по схеме автотрансформатора и представляют собой маслонеполненную конструкцию с шестью линейными клеммами для подключения регулятора к линейному участку в любой точке. Схема включения линейного регулятора приведена на рис. 4.

12. Обмотки возбуждения высшего напряжением
13. Катушка питания цепи управления
14. Вольтодобавочная обмотка
15. Подвижный контакт переключателя
16. Вспомогательный контакт выключателя с активным токоограничивающим сопротивлением
17. Неподвижные контакты

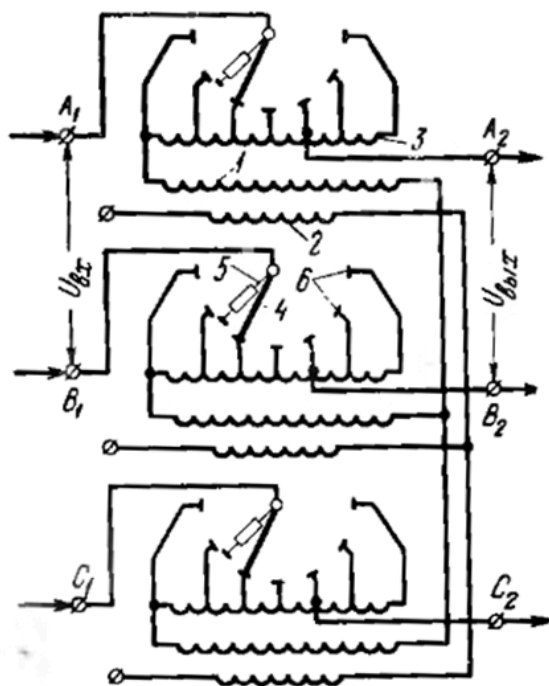


Рисунок 4 – Схема включения линейного регулятора

Литература

1. Линейные регуляторы напряжения. Вольтодобавочный трансформатор. – Режим доступа: <https://electricps.ru/vdt>. – Дата доступа: 17.10.2020
2. Booster transformer. – Mode of access: <https://circuitglobe.com/booster-transformer.html>. – Date of access: 17.10.2020.

УДК 621.311

**МЕТОД РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО СРЕДНЕЙ
МОЩНОСТИ И РАСЧЁТНОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ**

Воруев С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Одним из основных этапов проектирования распределительных сетей является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок как отдельных ЭП, так и узлов нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения.

Расчетные значения нагрузок – это нагрузки, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке (I_p), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию (не превышая допустимых значений) на элемент системы электроснабжения.

Зная электрические нагрузки, можно выбрать нужную мощность силовых трансформаторов, мощность и место подключения компенсирующих устройств, выбрать и проверить токоведущие части по условию допустимого нагрева, рассчитать потери и колебания напряжения, выбрать виды защит.

При наличии данных о числе ЭП, их мощности и режимах их работы расчет силовых нагрузок до 1 кВ рекомендуется проводить по средней мощности (P_c) и расчетному коэффициенту (K_p). Расчетный коэффициент определяется по упорядоченным диаграммам. Поэтому данный метод носит название – метод упорядоченных диаграмм.

Для расчета нагрузок необходимы исходные данные по каждому ЭП: количество и номинальная мощность ЭП (P_n); коэффициент использования по активной мощности ($K_{и.а}$); коэффициент активной мощности ($\cos \Phi$) и режим работы. При различных режимах работы ЭП их необходимо привести к длительному режиму ($P_B=1$).

Для определения расчетной мощности узла нагрузки по методу упорядоченных диаграмм все электроприемники разбиваются на подгруппы с учетом их подключения к узлу питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.). Необходимо отметить, что при формировании подгруппы резервные ЭП не учитываются [1].

По сформированным подгруппам ЭП определяются эффективное число электроприемников и средневзвешенный коэффициент использования данной подгруппы.

Эффективное число электроприемников – это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа электроприемников с разными мощностями и различными режимами работы.

Величина эффективного числа электроприемников подгруппы ($n_{\text{э}}$) определяется по формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_1^n P_{H.i})^2}{\sum_1^n P_{H.i}^2}, \quad (1)$$

где $P_{H.i}$ – номинальная активная мощность отдельного ЭП, входящего в состав подгруппы, кВт; n – число ЭП в подгруппе.

При значительном числе ЭП в подгруппе (магистральные шинопроводы, шины цеховых ТП, в целом по цеху) допускается эффективное число электроприемников подгруппы определять по упрощенному выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_1^n P_{H.i}}{P_{H.\max}}, \quad (2)$$

где $P_{H.\max}$ – номинальная активная мощность наиболее мощного ЭП в подгруппе, кВт.

Полученное по указанной формуле значение эффективного числа электроприемников подгруппы округляется до ближайшего меньшего целого числа. Допускается принимать значение эффективного числа электроприемников равным действительному числу электроприемников в подгруппе при условии, что отношение номинальной активной мощности наиболее мощного ЭП ($P_{H.\max}$) к номинальной мощности наименее мощного ЭП ($P_{H.\min}$) менее трех.

Средневзвешенный коэффициент использования для подгруппы ($K_{\text{и}}$) определяется по выражению:

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_1^n k_{\text{и.а.}i} P_{H.i}}{\sum_1^n P_{H.i}}, \quad (3)$$

Определение расчетных нагрузок по данному методу сводится к расчету значений активной, реактивной, полной мощностей и полного тока, рассматриваемого узла нагрузки.

Активная расчетная мощность группы электроприемников, подключенных к узлу питания напряжением до 1 кВ, определяется по выражениям:

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n P_{c.i} = K_p \sum_1^n k_{\text{и.а.}i} P_{H.i} = K_p K_{\text{и}} K_{\text{н}}, \quad (4)$$

где P_p – активная расчетная мощность узла нагрузки, кВт; K_p – расчетный коэффициент подгруппы, определяемый как $K_p = f(n_{\text{э}}; K_{\text{и}})$, о.е.; $p_{\text{н.}i}$ $p_{\text{с.}i}$ – номинальная и средняя мощности ЭП, входящих в подгруппу, кВт; $k_{\text{и.а.}i}$ – коэффициент использования индивидуального ЭП в подгруппе, о.е.; $P_{\text{н}}$ – активная суммарная мощность ЭП, входящих в подгруппу, кВт; $K_{\text{и}}$ – средневзвешенный коэффициент использования по активной мощности для ЭП, входящих в подгруппу, о.е.; n – число ЭП в подгруппе.

В случае, если расчетная мощность, определенная по выражению (4), окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП в подгруппе, следует принять расчетную мощность данной подгруппы равной номинальной мощности наиболее мощного ЭП.

Расчетный коэффициент определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования по активной мощности для подгруппы и эффективного числа электроприемников подгруппы. Значение расчетного коэффициента определяется по кривым этой зависимости или по таблицам с учетом постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки[2].

Более точное значение расчетного коэффициента определяется по кривым зависимости $K_p = f(n_{\Sigma}; K_{И})$, а также при $n_{\Sigma} \leq 4$ (рис. 1).

Для магистральных шинопроводов и шин НН цеховых ТП постоянная времени нагрева принята равной 2,5 ч ($T_0=2,5$ ч). В данном случае расчетный коэффициент определяется по табл.1.

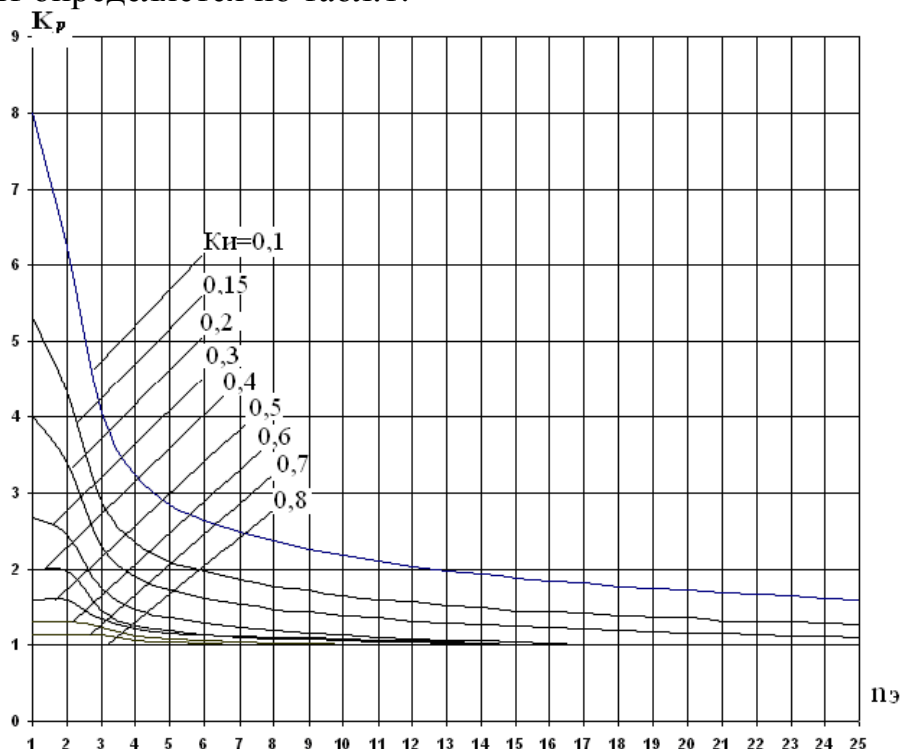


Рисунок 1 – Кривые коэффициентов расчетной нагрузки K_p для различных коэффициентов использования $K_{И}$ в зависимости от n_{Σ}

Расчетная реактивная мощность узла нагрузки по этому методу определяется по формулам:

- при $n_{\Sigma} \leq 10, Q_p = 1,1 \sum_1^n k_{и.i} P_{Н.i} tg\varphi;$ (5)

- при $n_{\Sigma} > 10, Q_p = \sum_1^n k_{и.i} P_{Н.i} tg\varphi;$ (6)

где Q_p – расчетная реактивная мощность, кВ·Ар; $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному значению $cos\varphi_{с.вз.}$ для ЭП, входящего в данную группу.

Полная расчетная мощность узла нагрузки:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \tag{7}$$

где S_p – полная расчетная мощность, кВ·А.

Расчетный ток узла нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (8)$$

где I_p – расчетный ток, А; U_H – номинальное напряжение узла питания, кВ.

Таблица 1 – Значения коэффициентов K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_{\text{Э}}$	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,6	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6 - 8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9 - 10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10 – 25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 -50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

После определения расчетных нагрузок подгрупп ЭП по узлам питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.) рассчитывается нагрузка всего подразделения (цеха, корпуса и т.п.). Подразделение рассматривается как центр питания всех подгрупп ЭП, а расчетные нагрузки подгрупп ЭП составляют группу нагрузок всего подразделения. Допускается $n_{\text{Э}}$ определять по упрощенной формуле (2). Расчет нагрузок подразделения в целом производится аналогично, как и для подгрупп ЭП. Но в формулах (3) и (4) вместо мощностей и коэффициентов индивидуальных ЭП необходимо подставлять мощности и коэффициенты, рассчитанные для подгруппы ЭП. При расчете суммарной нагрузки подразделения в целом необходимо учитывать осветительную нагрузку всего подразделения (цеха).

Литература

1. Кобашев, А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие/А.В. Кобышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.- 185с.
2. Радкевич, В. Н. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» (по отраслям) / В. Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова - Минск:БНТУ, 2013. - 124 с.

УДК 621.311

**ПОСТРОЕНИЕ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Галабурда Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Трехфазные сельские распределительные электрические сети среднего напряжения представляют ключевое звено системы централизованного электроснабжения. При соблюдении технических ограничений их оптимизация позволяет получить максимальный экономический эффект по сравнению с другими ступенями напряжения.

Вновь созданные и эксплуатируемые сельские распределительные электрические сети должны отвечать требованиям потребителей электроэнергии. К основным требованиям, обоснованным использованием современной техники и внедрением новых технологий, относят надежность электроснабжения и качество электроэнергии. Устойчивость работы электроприемников гарантирована государственной энергосистемой.

Построению оптимальных сельских распределительных электрических сетей традиционно уделяют много внимания. При этом выбор решений основан на расчете приведенных затрат, потерь и отклонений напряжения в нормальном режиме функционирования, который следует понимать как симметричный трехфазный режим прямой последовательности токов и напряжений. Современный уровень исследований в области надежности позволяет теоретически обосновать новые (дополнительные) критерии, разработать специальные методы расчета и нормативы. В задачи исследования входит поиск оптимальной конфигурации, оптимальных параметров и режимов работы сельских распределительных электрических сетей среднего напряжения при новом проектировании и реконструкции, а также установление сроков ликвидации до наступления массовых отказов.

Сельские электрические сети среднего напряжения включают типовые двухтрансформаторные подстанции классов 110 и 35 кВ, воздушные и кабельные линии 6, 10 и 20 кВ. Механическая прочность обеспечена использованием стандартных конструкций и их соединений. Лучшим исполнением можно считать трехфазные трансформаторные подстанции 110 кВ с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой и ВЛ 10 кВ на железобетонных опорах. Напряжение 6, 20 и 35 кВ традиционно используют как дополнительное. Сельские ТП класса 10 кВ и ВЛ напряжением 0,38 кВ в настоящей работе не рассмотрены как имеющие существенно меньшую мощность и длину. Однако выбор их оптимального варианта возможен на тех же теоретических принципах. Предпочтение следует отдать ВЛ 0,38 кВ на железобетонных опорах[2].

Питающие линии 110 кВ выполняют на металлических опорах и не относят к сельским. Их надежность достаточна, потери напряжения и энергии незначительны, а режимы работы строго определены.

Сеть сельского электроснабжения среднего напряжения представляет направленный разомкнутый граф. В случае аварийного отключения

автоматический ввод резервного питания предусмотрен от второго трансформатора подстанции класса 110 и 35 кВ или соседней линии среднего напряжения через короткую перемычку. Повышению надежности способствует автоматическое секционирование ВЛ и шин двухтрансформаторных подстанций[1].

Формальным отражением требований потребителей и возможностей энергосистемы служит технико-экономический показатель эффективности, позволяющий урегулировать противоречия и принять компромиссные решения. Достижению цели соответствует его минимум. Показатель эффективности, называемый также целевой функцией, объединяет частные критерии оптимизации способом суммирования в единый критерий. Целевую функцию следует представить в виде приведенных затрат, учитывающих отчисления от капиталовложений с нормативным коэффициентом эффективности и эксплуатационные издержки, включающие стоимость потерь электроэнергии. При исследовании надежности электроснабжения или качества электроэнергии модели дополняют соответствующим ущербом от аварийных отключений или отклонений напряжения по сравнению с номинальным напряжением. В результате получают нормативные показатели надежности и допустимые отклонения напряжения, которые затем служат ограничениями целевой функции при выборе варианта выполнения сельских электрических сетей и реконструкции на детерминированном уровне моделирования. Трудность заключена в оценке ущерба из-за недостатка объективной информации. При наличии ограничений ущерб может быть равен нулю.

Разработанные нами методы расчета и нормирования надежности электроснабжения основаны на использовании неполной исходной информации об аварийных отключениях.[2]

В период нормальной работы электрической сети имеет место стационарный ординарный поток отказов с восстановлением и экспоненциальным законом распределения длительности перерыва, называемый также простейшим. Показатели надежности элементов сети изменяются в широких пределах, т.е. точечные оценки не допустимы. Новой идеей является учет неопределенных факторов в виде интервалов значений показателей надежности. Преобразование электрических схем в диаграммы надежности и их последовательное эквивалентирование в соответствии с логическими операциями и/или позволяют получить научный и практический результаты. Дополнительная информация о сети помогает исследователю снять исходную неопределенность и выбрать вариант на детерминированном уровне. Основными результатами можно считать инженерный метод расчета и метод нормирования надежности, разработанные впервые, а также новые нормативные показатели, обеспеченные схемными решениями. Например, на шинах высшего напряжения ТП 10(6) кВ нормативный параметр потока отказов при отсутствии резерва по ВЛ среднего напряжения, соответствующий частоте аварийных отключений ω , составляет 1,4...1,8 в год с нормативной длительностью τ от 4 до 6 часов. При этом суммарная длина не секционированных участков линии не превышает 10 км. В случае автоматического резервирования одной ВЛ от другой (соседней)

через короткую перемычку и изменении длины основной и резервной линий в широких пределах $\omega = 0,2 \dots 0,3$ 1/год и $\tau = 4 \dots 8$ ч. Таким образом, сетевое резервирование на среднем напряжении можно считать действенным способом повышения надежности электроснабжения сельских потребителей. Известные ранее нормативы надежности не имели теоретической базы и практически не могли быть использованы из-за отсутствия соответствующих схем электроснабжения и методов расчета. С надежностью сельских электрических сетей среднего напряжения связано качество электроэнергии у потребителей 0,38 кВ. При новом строительстве и реконструкции сельских распределительных электрических сетей следует выбирать схемы, соответствующие нормативным показателям надежности. Ориентиром для проведения реконструкции существующих электрических сетей, не оптимальных по критериям надежности электроснабжения и качества электроэнергии, служит верхняя граница периода нормальной работы. В более поздние сроки реконструкция не допустима. Качество электроэнергии сельских потребителей во многом зависит от потерь напряжения в распределительных электрических сетях среднего напряжения. Повышение качества электроэнергии обусловлено использованием схем электроснабжения с оптимальными параметрами и режимами. Выбор сечений проводов и кабелей, составляющий основу электрического расчета, возможен на детерминированном уровне информации или с учетом неопределенного фактора роста электрической нагрузки. Стандартные технические средства (электрические аппараты и оборудование), выпускаемые отечественной промышленностью, позволяют снизить потери напряжения и электроэнергии до уровня допустимых значений. Таким образом, в нормальном режиме функционирования сети среднего напряжения с нормативными показателями надежности впервые могут быть обеспечены отклонения напряжения у электроприемников в пределах, регламентируемых ГОСТом. За пределами нормальной работы сети централизованного электроснабжения и ее элементов имеет место нестационарный ординарный поток отказов без восстановления, соответствующий периоду старения. Рост интенсивности отказов подчинен нормальному закону распределения. Методом экспертных оценок с последующей математической обработкой мнений специалистов по критериям согласия определена граница зоны стационарности, установлена тесная связь между старением элементов системы сельского электроснабжения и материалами опор ВЛ, а также трансформаторов подстанций. Кроме того, показано, что старение практически не зависит от номинального напряжения сети. Для определения срока безопасной эксплуатации сельских распределительных электрических сетей относительно нормативного использован метод численного интегрирования. Интенсивность отказов описана математическим ожиданием функции случайной величины. Расчеты показали, что элементы сети сельского электроснабжения должны служить 0,9 нормативного срока, т.е. на 3...4 года меньше установленного ранее периода. Нормативный срок не следует корректировать[1].

Выводы. Таким образом, впервые на основе научной методологии разработаны методы и модели построения оптимальных систем

централизованного электроснабжения сельских потребителей, включающие выбор параметров и режимов, стратегии реконструкции существующих электрических сетей среднего напряжения с учетом неполной исходной информации. Предусмотрена безопасная ликвидация элементов системы до наступления массовых отказов и катастроф техногенного типа. Внедрение результатов работы гарантирует снижение ущерба от аварийных отключений при минимальных затратах, снижение потерь напряжения и повышение качества электроэнергии.

Литература

1. Эбина Г.Л. Построение сельских распределительных электрических сетей // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. №2(17). С. 130-133.
2. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей: Высшая школа, 2009.

УДК621.311

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЬЮ**

Галабурда Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Изношенность электросетевого оборудования и линий электропередач на сегодня достигает 80%, что даёт о себе знать большим количеством отключений потребителей, которые влияют не только на недоотпуск электроэнергии, но и во многом определяют ключевой показатель деятельности компаний — надёжность электроснабжения производственного оборудования предприятий. Протяжённость распределительных сетей составляет примерно 40% от протяжённости сетей всех классов напряжений, при этом именно в воздушных сетях 6(10) кВ происходит наибольшее число (до 80%) повреждений, которые приводят к аварийным отключениям.

1. Среднее число устойчивых повреждений в сети составляет 8—20 отключений на 100 км линий электропередачи в год.

2. Среднее время восстановления одного устойчивого повреждения в сети составляет 6 часов на одно повреждение.

3. Ежегодно из-за аварийных отключений сетевые компании ограничивают поставку электрической энергии в объёме 172 млн кВт·ч в год[1].

Общие проблемы, которые стоят сегодня перед распределительным комплексом, это:

- длительное время поиска повреждения;
- отключение большого числа потребителей;
- риски нарушения основного технологического процесса;
- затраты на поиск и устранение повреждения;
- высокие потери при транспорте электроэнергии;
- высокие затраты на эксплуатацию сетей;
- отсутствие актуальной, своевременной и исчерпывающей информации.

Современные ПТК — комплексная система управления адаптивной распределительной сетью (КСУАРС) — это совокупность инновационных решений по обеспечению комплексного управления распределительными сетями на базе многофункциональных микропроцессорных устройств, интегрированных в единой информационной сети, и автоматизированных систем технологического управления. Они решают задачи локализации и изоляции повреждений, секционирования и восстановления энергоснабжения, мониторинга сети и состояния оборудования, коммерческого, технического учёта и управления электропотреблением, контроля качества и бесперебойности электроснабжения.

При автоматизации распределительных сетей 10—6кВ можно выделить несколько основных групп объектов по функциональному назначению.

РП, РТП—распределительные подстанции, распределительно-трансформаторные подстанции:

- получают и могут передавать электроэнергию среднего напряженияб—

- 10кВотподстанций электрических сетей (питающих центров);
- имеют до 15—20 отходящих линий 6—10 кВ для транспорта электроэнергии на следующий уровень сети или поставки конечным потребителям большой мощности по среднему напряжению;

ТП — трансформаторные подстанции:

- получают вводную электроэнергию среднего напряжения 6—10 кВ от распределительных подстанций;
- имеют один-два понижающих трансформатора для поставки электроэнергии в сельских сетях небольшому числу потребителей (посёлки, деревни, предприятия). В городских сетях ТП применяются для поставки электроэнергии большому количеству потребителей (многоквартирные жилые дома, объекты ЖКХ и пр.).

АПС — автоматические пункты секционирования (реклоузеры), применяются для защиты воздушных линий электропередачи в аварийных режимах, автоматического секционирования электросети (выделения повреждённого участка), автоматического повторного включения (АПВ), автоматического ввода резерва (АВР)[4].

Пункты учёта и секционирования. Применяются для организации учёта электроэнергии у потребителей среднего напряжения, а также для дистанционного управления, ограничения электроснабжения. Данное деление также определяет индивидуальные требования автоматизации, присущие этим группам объектов, и способы их реализации:

- для РП, РТП приоритетны задачи контроля нагрузок, телесигнализации, диспетчеризации и технического учёта электроэнергии. Решение этих задач позволяет оперативно-диспетчерским службам иметь полную информацию о состоянии объектов, а службам учёта и транспорта — контролировать распределение электроэнергии и мощности, выявлять хищения электроэнергии и места возникновения сверхнормативных потерь;
- в распределительных сетях большинство ТП питают одного-двух потребителей, которые рассчитываются за электроэнергию. Поэтому задача расчётного учёта может быть решена на самой подстанции установкой приборов коммерческого учёта. В случае городских сетей ТП часто имеет большое число потребителей. Также кроме учёта электроэнергии в ТП присутствуют в определённом объёме задачи диспетчеризации, схожие с объектами типа РТП — охранная и пожарная сигнализация, состояние силового оборудования, контроль параметров электросети;
- воздушные и кабельные линии электропередач среднего напряжения.

Системы автоматического секционирования и осуществления децентрализованной автоматизации распределительной сети с применением интеллектуальных реклоузеров, пунктов секционирования, КРУ и пунктов учёта, связанных между собой единой информационной сетью. Автоматическое секционирование комплексно влияет на ключевые показатели надёжности — недоотпуск электрической энергии, количество и длительность отключений

потребителей, а также позволяют отслеживать «внутрисетевую» информацию о режимах работы, аварийных режимах, потреблении энергии[3].

Переход от традиционных разрозненных систем к КСУАРС

Проблемы, присутствующие в электроэнергетике, распространяются и на информационные комплексы. Без их решения невозможно создавать современные системы управления. Выделим основные:

- дублирование информации об оборудовании и данных об объектах, а также моделей сети в различных информационных системах при отсутствии механизмов их синхронизации, что влечёт за собой;
- высокие затраты на эксплуатацию электросетевого комплекса;
- высокие затраты на поддержание полноты и актуальности данных в локальных информационных системах;
- противоречивость и недостоверность данных из-за множественности источников информации;
- использование в информационных системах различных и не связанных между собой справочников и классификаторов, что затрудняет получение консолидированных отчётов на основе данных из нескольких информационных систем;
- различие моделей данных в информационных системах, существенно затрудняющее обмен данными между системами;
- интеграция информационных систем «точка-точка»;
- невозможность обеспечения безопасности объектов и защиты информации в связи с разнородностью информационного обмена и как следствие отсутствия единых технологий контроля данных;
- зависимость бизнес-процессов от реализации информационных систем, в том числе их интеграции;
- отсутствие возможности автоматизации и большое количество ручного труда при эксплуатации систем, как следствие — большое количество ошибок при стыковке различных систем;
- существующая модель данных не позволяет эффективно поддерживать технологии SmartGrid и SmartMetering.

Решением данной проблемы может стать переход от управления приложениями к управлению данными. Необходимо создать «эталонную» информационную модель, позволяющую описать энергосистему с возможностью выделения профилей объектов, что позволит[4]:

- гарантированно обеспечить прикладные ИС данными необходимого состава для формирования профиля (информационные сущности, атрибуты, отношения, топология сети);
- добиться целостного описания энергосистемы (объекты будут логически связаны в рамках единой информационной модели на всех уровнях транспорта электроэнергии, предусмотренных «эталонной» моделью);
- упростить информационный обмен между ИС за счёт унификации обменного «формата» и типовых профилей данных.

Централизованное ведение мастер-данных и нормативно-справочной информации, что позволит обеспечить:

- исключение дублирования ввода данных в локальные БД прикладных информационных систем при сокращении расходов на услуги подрядных организаций, трудозатраты персонала компании;
- непротиворечивость данных;
- возможность управления информационной безопасностью объектов;
- единую классификацию данных;
- возможности анализа и формирования консолидированной отчётности и контроля целостности данных и единой системы кодирования объектов;
- выделение данных из классификаторов и справочников в типовые профили, используемые для решения прикладных задач: учёт, телемеханика, контроль качества, контроль надёжности;
- перенос типовых профилей данных классификаторов и справочников на объект сетевого предприятия для синхронизации информации и единства данных по всей цепочке на базе первичной информации.

Единственным доступным сегодня решением, обеспечивающим повышение надёжности и эффективности эксплуатации распределительного электросетевого комплекса, становятся системы управления, интегрированные с задачами учёта, предаварийной диагностики, контроля безопасности и управления объектами распределительных сетей[1].

Такая интеграция позволяет получить синергетический эффект при внедрении и эксплуатации систем. Применение инновационного оборудования и программно-аппаратных комплексов позволяет не только внедрить технологии автоматизированного снятия показаний с приборов учёта, но и обеспечить возможность создания адаптивных сетей, в которых экономические показатели могут быть значительно повышены за счёт снижения резервов мощности и создания комфортных тарифных планов, учитывающих интересы пользователей и позволяющих сетевым предприятиям предлагать услуги снижения резервов мощности за счёт тарифов с потребителями, дающих право на краткосрочное отключение электроэнергии в пиковые часы для сохранения необходимого минимального резерва[2].

Применение КСУАРС позволит интегрировать в электрические сети новые технологии микро- и возобновляемой генерации, обеспечит управление осветительной нагрузкой, в том числе с возможностью плавного регулирования (диммирования), обеспечит возможность подключения к сетям заправочных станций электротранспорта. Электрическая сеть всегда строилась как система односторонней передачи. Она состояла из очень мощных генерирующих станций, связанных с потребителями энергии. Переход к возобновляемым источникам энергии и появление новых интеллектуальных устройств требуют иного подхода — развития адаптивной интеллектуальной сети, обеспечивающей возможность «тонкой настройки» и регулирования процессов транспорта и распределения электроэнергии. Современные технологии позволяют внедрять

такие технологии на всех уровнях производства, транспорта, распределения и потребления электроэнергии.

Литература

1. Севостьянов А.Н., Бурмистров А.П. Электроэнергия. 2015. №2(29). С. 36-42.
2. Фадеева Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей: Высшая школа, 2009.
3. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Определение оптимального места установки реклоузера в распределительной электрической сети. Закономерности развития технических и технологических наук: сборник статей международной научно-практической конференции (25 августа 2017 г., г. Казань). Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 70-79.
4. Н.А.Манов, Ю.Я.Чукреев, М.И. Успенский Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 205 с.

УДК 621.315

**АРМАТУРА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ: НАЗНАЧЕНИЕ
И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ**

Грищенко Н. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Кабельная арматура- это оборудование, позволяющее соединять концы строительных длин кабеля, устраивать ответвления кабеля и его оконечные включения.

В состав кабельной арматуры входят кабельные муфты различного назначения, кабельные ящики, боксы, распределительные коробки, шкафы магистральной связи и другие конструкции.

Муфты применяются для соединения отрезков кабелей строительных длин в местах ответвлений и для оконечной разделки, оконечные кабельные устройства, кабель роста и др. Муфты бывают ответвительные, концевые, переходные, соединительные.

Термоусаживаемые трубки защищают металлические оболочки кабелей и муфт от почвенной или электрохимической коррозии в местах монтажных соединений кабелей.

Боксы кабельные междугородные, являются оконечными устройствами вводных кабелей. Их применяют для монтажа кабеля в релейных шкафах сигнальных точек автоблокировки.

Кабельные ящики используют при переходе кабельной линии в воздушную.

Кабельные шкафы применяют на кабельных линиях вместо киосков, а на воздушных линиях проводной связи – вместо кабельных ящиков. (в них размещают линейные защитные и согласующие устройства).

Путевые ящики предназначены для размещения в них путевых и релейных трансформаторов, реле, реакторов, путевых реостатов и другой аппаратуры.

Распределительные коробки предназначены для соединения десятипарного распределительного кабеля местных телефонных сетей с однопарными кабелями, прокладываемыми от коробки к телефонным аппаратам абонентов.

Кабельные трубопроводы собирают из отдельных труб, соединяемых между собой при укладке.

Силовые устройства (колодцы и коробки) предназначены для протягивания и монтажа кабеля, контроля его состояния в процессе эксплуатации и устранения повреждений.

Выделяют три основные категории проводной арматуры:

- станционная — специальный набор нужных устройств и инструментов, обеспечивающих жизнедеятельность энергетических объектов;
- оптически-волоконные линии связи. Они предназначены для прокладки, соединения, с последующей их фиксацией.
- кабельная интернет система, применяется для внутреннего соединения интернет-кабелей в зданиях.

К кабельным сооружениям относятся устройства для размещения кабелей и монтируемой в них кабельной арматуры, а также кабельная канализация,

коллекторы, тоннели, короба, эстакады и подземные и надземные сооружения необслуживаемых усилительных и регенерационных пунктов; устройства защиты от коррозии и электромагнитных влияний.

Среди наиболее известной и широко используемой кабельной арматуры стоит отметить такие изделия, как:

- различные муфты;
- соединители для соединения системы;
- гильзы, изолирующие и защищающие места соединения;
- арматура для самонесущихся изолированных проводов;
- заглушки;
- материалы, направленные на самогерметизацию муфты;
- оборудование, назначением которого является нарезка/разделка кабелей;
- оконечные кабельные устройства.

Выбор кабельной арматуры зависит от:

- типа изоляции (полимер, бумага и пр.), конструкции и номинального напряжения кабеля;
- количества и типа сечения проводников (жил);
- условий монтажа (открытый воздух, грунт, внутри помещения и т. д.).

Литература

1. Novosibdom.ru. Кабельная арматура: где и как применяется / Novosibdom.ru // – Режим доступа: <http://novosibdom.ru/node/1843> - Дата доступа 19.09.2016
2. Sts-kabel.ru. Виды кабельной арматуры / Sts-kabel.ru // - Режим доступа: https://sts-kabel.ru/news/vidy_kabelnoy_armatury/
3. Helpiks.org. Кабельная арматура / Helpiks.org // - Режим доступа: <https://helpiks.org/3-36008.html>

УДК 620.92

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЭЦ НА ГАЗЕ

Марчук К.А.

Научный руководитель – Дашковский А.А.

В зависимости от генерации и подводимой энергии, тепловые электростанции подразделяются на два основных типа:

- конденсационные (КЭС)
- теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)

Конденсационные могут производить только электроэнергию, а теплофикационные могут производить электроэнергию и тепло. Конденсационные электростанции работают на ископаемом топливе, поэтому они построены вблизи места его производства, а тепловые и электростанции расположены вблизи потребителей тепла - жилых районов. К основным видам топлива этих электростанций являются: твердое - уголь, полуантрацит, антрацит, бурый уголь, сланцы. Зачастую газ используется для тепловой электростанции, так как он является более экологически чистым.

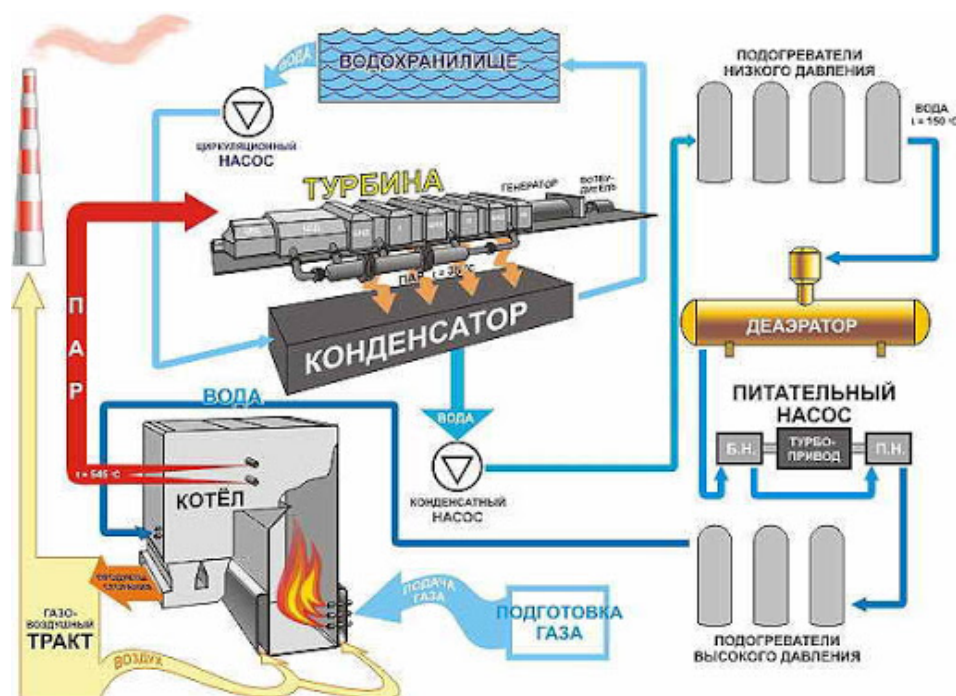


Рисунок 1 – Принцип работы (ТЭЦ)

На ТЭЦ газ поступает по газопроводу в паровой котел. В котле газ сгорает и нагревает воду. В котел подается воздух, который является окислителем в процессе сжигания газа. Образовавшиеся при сгорании топлива дымовые газы поступают в дымовую трубу и в дальнейшем рассеиваются в атмосфере. Раскаленный газ устремляется по газоходу и нагревает воду, проходящую по специальным трубкам котла. При нагревании, вода превращается в перегретый пар, который поступает в паровую турбину. Пар поступает внутрь турбины через главный паропровод, где проходит последовательно цилиндры: высокого, среднего и низкого давления. Здесь потенциальная энергия пара преобразуется в

кинетическую энергию механического вращения лопаток ротора турбины со скоростью вращения 3000 об/мин, который жестко соединен с валом электрогенератора. Цилиндр и ротор с лопатками выполнен из высоколегированной стали. Через повышающий трансформатор по линиям электропередач поступает к потребителям. Часть пара после турбины направляется в конденсатор, где он превращается в воду, которая, с помощью специальных нагревателей, идет обратно в котел. Вода, используемая для охлаждения пара, поступает в распылительный бассейн и градирни, где охлаждается и возвращается обратно в конденсатор по замкнутому кругу. Другая часть отработанного пара используется для целей теплофикации города. В специальных подогревателях холодная вода нагревается до температуры 70 градусов летом и 120 градусов в зимний период, а затем подается сетевыми насосами в общую камеру смешивания, далее вода по тепломагистралям поступает в город для восполнения потерь воды в тепловых сетях.

Литература

1. Типы тепловых электростанций и принцип их работы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book/-3part-1section-1-1-2/1>. – Дата доступа: 02.04.2020.
2. Типы электростанций по производству электрической и тепловой энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mylektsii.ru/3-11914.html>. – Дата доступа: 12.04.2020.
3. Типы и виды электростанций [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gigavat.com/tipi_elektrostancij.php. – Дата доступа: 12.04.2020.
4. Типы тепловых электростанций [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://helpiks.org/4-77735.html>. – Дата доступа: 12.04.2020.
5. Типы электростанций: их преимущества и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pue8.ru/sistemy-elektrosnabzheniya/922-tipy-elektrostantsij-ikh-preimushchestva-i-nedostatki-raznovidnostiklassifikatsiya.html>. – Дата доступа: 12.04.2020.

УДК 621.311

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Дашковский А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Короткевич М.А.

При прокладке кабельной линии монтажники сталкиваются со множеством различных преград. Это дорожные магистрали с интенсивным автомобильным трафиком, лесные массивы, а также различные водные преграды. На стадии проектирования необходимо выбрать подходящий кабель для прокладки через водоём, что имеет свои особенности, так как удельное термическое сопротивление воды принимается равным $0,4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$, в то время как при прокладке под землёй оно имеет значение $1,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$. Таким образом, изменяется тепловое сопротивление окружающей среды, которое влияет на величину значения допустимого тока нагрузки кабеля. Тепловое сопротивление окружающей среды, согласно [1], определяется по формуле:

$$T_4 = \frac{1}{2\pi} \rho_T \ln(2U) = 0,366 \rho_T \lg\left(\frac{4L}{d_k}\right), \quad (1)$$

где ρ_T – удельное тепловое сопротивление земли; L – глубина заложения кабеля в грунт; равна $0,7$ м (для кабелей напряжением $6\text{--}20$ кВ); $1,0$ м – для кабелей напряжением 35 кВ и $1,5$ м (для кабелей напряжением 110 кВ); d_k – наружный диаметр кабеля, мм.

Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ с алюминиевыми жилами проложенных в плоскости тепловые сопротивления окружающей среды, в случае прокладки по дну водоёма на глубине $1,5$ метра изменяются в пределах от $0,2699$ до $0,2877 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$ в зависимости от сечения жилы, а на глубине в 10 метров значения изменяются от $0,3905$ до $0,4083 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$ в то время как при прокладке в земле это значение изменяется в пределах $1,2146\text{--}1,2947 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$.

Следовательно, тепловое сопротивление окружающей среды в свою очередь оказывает влияние на значение допустимого тока нагрузки, которое согласно [2], определяется по формуле:

$$I_{\text{доп}} = \left[\frac{\Delta\Theta}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0.5}, \quad (2)$$

где $\Delta\Theta = \Theta - \Theta_0$ – превышение допустимой температуры жилы ($\Theta_{\text{дон}}$) над температурой окружающей среды (Θ_0); значение $\Theta_{\text{дон}}$ для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена равно 90°C ; значение Θ_0 для весенне-летнего периода принимается равным 15°C (при прокладке в земле и на дне водоёма) [3]; n – число жил в кабеле; T_1 – тепловое сопротивление изоляции; T_2 – тепловое сопротивление между экраном и бронёй; T_3 – тепловое сопротивление наружного

защитного покрытия; λ_1 , λ_2 – соответственно, отношение общих потерь в металлических оболочках и отношение общих потерь в броне к общим потерям в жилах (или потерь в одной оболочке или броне к потерям в одной жиле);

Значения допустимого тока нагрузки для кабелей, проложенных в земле и по дну водоёма представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые токи нагрузки

Площадь поперечного сечения жилы, мм ²	Допустимый ток нагрузки, А		
	При прокладке в земле	При прокладке на дне водоёма на глубине 1,5 м	При прокладке на дне водоёма на глубине 10 м
1	2	3	4
1x150(95)	374,056	521,055	494,020
1x185(95)	423,597	596,645	564,173
1x240(95)	492,409	706,722	665,305
1x300(95)	557,777	814,246	763,187
1x400(95)	635,206	947,978	883,996
1x500(95)	722,446	1094,386	1016,039
1x630(95)	819,24	1261,89	1165,735
1x800(95)	917,231	1438,353	1322,097
1x1000(95)	1013,572	1610,072	1473,606

Таким образом, при прокладке кабелей по дну водоёма допустимые токи нагрузки имеют большее значение, чем при прокладке кабеля в земле на 35% – 59% в зависимости от площади поперечного сечения жил кабеля и глубины прокладки.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчёт номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнение для расчёта номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчёт потерь. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 25с.
2. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. Кабели электрические. Расчёт номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчёт теплового сопротивления. – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.
3. ТКП 611-2017. Силовые кабельные линии напряжением 6-110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки. – Минск: Минэнерго РБ, 2017. – 103 с.

УДК 621.3

**МОЛНЕЗАЩИТА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПОДСТАНЦИЯХ 6(10)/0,4 кВ**

Дехтерёнок М.В.

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

Осуществление передачи электроэнергии на большое расстояние производят с помощью высокого напряжения. В большинстве случаев, к потребителю приходит линия 6(10)кВ и для дальнейшего снижения напряжения до 0,4кВ проектируют трансформаторные подстанции (ТП).

В целях экономии уровень изоляции оборудования подстанции (ПС) ниже уровня изоляции линий электропередач (ЛЭП). Следовательно, с линий на подстанцию могут перетекать волны перенапряжения, которые опасны для оборудования подстанции. Перекрытие изоляции электрооборудования подстанции чревато отключением части подстанции и возможным погашением целого района. Грозозащита подстанции должна быть значительно более надёжной, чем защита линий. В её состав входят следующие виды защиты:

- От прямых ударов молнии.
- От перекрытий при ударах молнии в заземлённые конструкции.
- От проходящих с линий волн.
- От ударов молнии в линии в местах подхода к подстанции.

Выделяют внешний и внутренний контуры заземления, а также мероприятия по молниезащите ТП [2].

Внешний контур заземления для ТП состоит из замкнутого контура, он представляет собой горизонтальный заземлитель и некоторое количество вертикальных электродов. В роли горизонтального электрода применяют полосу сталь 4х40 мм.

В основном ТП состоит из трёх помещений: распределительное устройство (РУ) 6(10)кВ, распределительное устройство 0,4кВ и камера трансформатора. В помещениях по периметру прокладывают полосу заземления, т.к. все металлические части без напряжения должны быть заземлены.

В большинстве случаев наши сети (0,4кВ) с глухозаземлённой нейтралью, в следствие чего нужно присоединить нулевую шину трансформатора к заземляющему контуру. Корпус силового трансформатора соединяется с контуром заземления при помощи перемычки. В ситуации с металлической кровлей молниезащиту ТП осуществляют следующим образом: с диаметрально противоположных сторон выполняют связь кровли с наружным контуром заземления (в местах ввода стальной полосы в здание ТП). В роли проводника следует использовать проволоку диаметром 8 мм. В остальных случаях необходимо проектировать молниеприемник на кровле здания ТП [1].

На сегодняшний день для заземления нейтрали трансформатора в высоковольтных сетях (10кВ и выше) вводят резистивное заземление (высокоомное и низкоомное).

Высокоомное заземление характеризуется тем, что величины перенапряжений снижаются путём шунтирования емкостей фаз сети резистором,

это приводит к ускорению их разряда при погасании дуги, что в итоге снижает максимальное значение, до которого они успевают зарядиться. В результате минимизируется риск выхода из строя изоляции оборудования от перенапряжений.

Низкоомное заземление нейтрали используется, если необходимо обеспечить быстродействующее отключение присоединения с однофазным замыканием на землю (ОЗЗ) релейной защитой. Вместе с этим величина перенапряжений снижается ещё больше, что приводит к повышению степени надёжности работы оборудования.

На ПС важным вопросом является защита от волн перенапряжения. Сравнительная характеристика основного грозозащитного оборудования приведена в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Сравнительная таблица грозозащитного оборудования

Средство	Функция	Эффект	Недостатки
Ограничители перенапряжения (ОПН)	Ограничение всех грозовых и коммутационных перенапряжений до безопасного уровня	В отличие от вентильных разрядников, не имеют искровых промежутков, что увеличивает их эффективность	Снижение электрической прочности изоляции от колебаний температуры окружающей среды
Молниеотводы (тросовые, стержневые)	Принимает на себя прямой удар и отводит электрический ток в землю	Очень эффективны, так как индуцированные заряды не могут накапливаться на здании и вероятность возникновения молнии снижается	Расстояние от ближайших сооружений должно быть не менее 15 м либо установка предполагается на разных сторонах здания
Длинноискровые разрядники (РДИ)	Увеличение пути разряда, устранение горения дуги	Эффективны за счет большой длины импульсного грозового перекрытия	Вероятность гашения дуги уменьшается с уменьшением сопротивления заземления опоры
Разрядники вентильные (РВ)	Снижают амплитуду набегающих волн до величин безопасной для изоляции электрооборудования	Обеспечивают достаточно высокую надежность грозозащиты	Высокое пробивное напряжение искровых промежутков
Разрядники трубчатые (ТР)	Гашение дуги за счет продольного дутья	Просты в использовании, но заменяются на ОПН ввиду неэффективности	Крутой срез волны перенапряжения, наличие предельных отключаемых токов, что осложняет их производство и эксплуатацию

Для защиты ПС от перенапряжений лучше применять ОПН, из-за материала изготовления нелинейных резисторов и отсутствия у них искровых промежутков.

Литература

1. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания оборудования высокого напряжения. Изд. М: Энергия 1977-288с.
2. Рожкова Л.Д. Электрическая часть электрических станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 642 с.
3. Красник В.В., Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств / В.В.Красник, М.: ЭНАС, 2011.

УДК 621.311.16

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Дехтерёнок М.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Повышение эффективности использования энергоресурсов является очень важным аспектом для развития устойчивой экономики.

Важность темы вызвана, в основном, нынешними социально-экономическими тенденциями, которые приводят к увеличению общей энергоёмкости бытовых и промышленных потребителей, связанной также с распространением разных электротехнических систем и комплексов, изменениями графиков и режимов потребления мощности, с увеличением длин промышленных, магистральных и бытовых электросетей.

Как следствие электропотребления и увеличения технологического расхода электроэнергии на её транспорт, возникает нехватка генерируемой мощности от электростанций, необходимость сооружения дополнительных станций, систем распределенной или комплексов автономной генерации. Это связано с высокими затратами и ущербом для экологии, которые можно снизить, если обеспечить увеличение энергоэффективности систем электроснабжения и электротехнических комплексов.

Энергоэффективностью систем электроснабжения и электротехнических комплексов является эффективное и рациональное использование мощности, потребляемой от источников электроэнергии, при сохранении параметров качества режимов сети, питающей бытовых и промышленных потребителей [2].

Поэтому очень важна разработка средств и методов повышения энергоэффективности благодаря минимизации потерь при передаче мощности от источника к потребителю, благодаря повышению показателей эффективности электропотребления и качественных показателей электроэнергии питающей сети.

Повышение энергоэффективности производства можно достичь двумя способами:

- Разработка и внедрение новейшего оборудования;
- Правильное использование существующих электроустановок.

Это означает: оптимальное распределение нагрузки между электростанциями; выбор самого выгодного состава рабочего оборудования; оптимизация схем энергосистемы; осуществление ремонта в приемлемые сроки.

Второй способ связан с задачей оптимизации режимов электроэнергетических систем. Результатом, обычно, является не только снижение стоимости на выработку, передачу и распределение энергии, но и снижениетакой важной части как потери мощности и электроэнергии, обеспечениеустойчивой работы электрооборудования.

Для повышения эффективности электроэнергетических систем, нас интересует оптимизация режима энергосистемы, а именно оптимальное распределение нагрузки между станциями.

В каждый момент времени энергосистема находится в определенном состоянии, которое характеризуется параметрами состояния системы (номинальная мощность оборудования, длина и марка проводов) и режима (напряжение, ток, уровень воды на гидроэлектростанциях). Решение задачи управления режимами заключается в нахождении действий, обеспечивающих минимальные затраты, сохраняя баланс активной мощности. Таким образом оптимальное управление режимами состоит в экономном распределении общей нагрузки энергосистемы между станциями.

Расчёт режима – довольно объёмная и сложная задача, в добавок к этому решение возможно только итерационными методами. Поэтому на практике во многих случаях решаются две подзадачи:

- Распределение нагрузки в энергосистеме при неизменных нагрузках в узлах и приближенном расчете потерь мощности;
- Расчет режима при фиксированных активных мощностях станции. В этом случае реактивная мощность узлов генерации находится по критерию минимума суммарных потерь активной мощности.

Способы распределения нагрузки между электростанциями делятся на практические и аналитические [1]. К первой группе относятся:

- Метод относительных приростов. Целью является распределение нагрузки между агрегатами так, чтобы суммарные затраты были минимальными.
- Табличный метод. Отличается от метода относительных приростов тем, что исходными данными первого метода являются расходные характеристики, а в табличном методе все зависимости величин относительных приростов от величины загрузки агрегатов представлены в виде таблиц.
- Графоаналитический метод.

Аналитические способы являются более сложными, но точность у них выше в сравнении с практическими способами распределения нагрузки:

- Метод динамического программирования.
- Прямой метод оптимизации.
- Градиентный метод.
- Метод штрафных функций.

В последнее время активно создаются и применяются методы оптимального управления хозяйственной деятельностью и технологическими процессами в различных отраслях промышленности [3].

В энергетике одной из главных задач управления, определённо, является оптимизация режима эксплуатации энергетических объединений и предприятий. В то же время не меньшее значение имеет и проектная задача.

Разработка оптимальной стратегии развития энергетических систем и сетей, которая включает в себя выбор типов, мощностей и расположения новых электростанций и подстанций, напряжения, сечения проводов и конфигурации линий, образующих электрическую сеть и т. д.

Это довольно сложная задача, при её решении необходимо учитывать условия транспортировки топлива, удобство доставки потребителям

электрической и тепловой энергии, возможность снабжения электростанций водой, требования санитарных норм, не допускающих загрязнения воздуха, условия удаления золы и шлака, наличие удобных площадок для строительства электростанций и жилых поселков при них и ряд других требований.

Расчеты, связанные с оптимизацией режима работы энергосистем, во многих случаях требуют предварительных вычислений или использования результатов расчетов, имеющих самостоятельное значение. Прежде всего, надо иметь в виду необходимость получения достоверной исходной информации для выполнения тех или иных расчетов или для автоматической оптимизации режима.

Вместе со всем вышеперечисленным, одной из основных задач остаётся выбор выгодного состава оборудования. Суть его в сравнении возможного снижения затрат при пуске дополнительных агрегатов с перерасходом средств на пуск и на холостой ход вновь пускаемых агрегатов с учётом дополнительного износа в нестационарных режимах. Чтобы решить эту задачу нужно провести расчёты для разных комбинаций работающих агрегатов и участков графика нагрузки.

Ещё одной задачей является оптимизация режима работы каждого отдельного агрегата. Речь идёт о непрерывном регулировании производственного процесса так, чтобы при заданной нагрузке коэффициент полезного действия (КПД) оставался максимальным.

Тем не менее, проанализировав ситуацию в нашей стране, в связи с вводом в эксплуатацию атомной электростанции (АЭС), можно сказать, что оптимальные режимы работы энергоблока должны определяться в зависимости от общих графиков потребления электроэнергии в системах, структуры их генерирующих мощностей и технических возможностей регулирования мощностей каждого агрегата [4]. Можно сделать вывод, что работа АЭС будет планироваться в базовой части графика вследствие практической невозможности и экономической нецелесообразности снижения нагрузки. Следовательно, задачу оптимизации будут решать при помощи станций, способных с лёгкостью покрывать пики нагрузок.

Литература

1. Кудряшов, А.Н. Повышение эффективности производства и использования энергии: материалы Всероссийской научно-практической конф. с междунар. уч./ А.Н.Кудряшов, С.Н.Сушко, А.В.Чалбыппев // Иркутск: Изд. ИрГТУ. - 2011. -С.189-194.
2. Клер, А.М. Оптимизация режимов работы энергоисточников на органическом топливе с учетом конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности / А.М.Клер, А.С.Максимов, А.В.Чалбыппев // Вестник Воронежского государственного технического университета. Энергетика. - 2013. - №1. -С.73-79.

УДК 621.311

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ

Заруба И.А., Сёмочкин Д.Е., Драк А.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Вначале прошлого века резко увеличилось потребление электроэнергии, что привело к увеличению напряжения в линиях электропередачи. Но стоит учесть, что силовые кабели, пропитанные маслом, не были рассчитаны для работы под напряжением от 60кВ из-за наличия в изоляции воздушных и газовых включений.

Вначале 20го века был изобретен одножильный кабель, рассчитанный на напряжение 150кВ, который использовали параллельно с воздушной линией электропередачи. Но стоит учесть, что и в настоящем времени находятся в безотказной работе те же маслонаполненные кабели.

Что же все-таки представляет из себя маслонаполненный кабель? В маслонаполненных кабелях бумажная изоляция пропитывается маслом, которое постоянно держится под давлением. Маслонаполненные кабели низкого давления изготавливаются в свинцовой или алюминиевой оболочке. Они имеют толстую, бесшовную, герметичную оболочку из свинца, которая включает в себе гидравлический контур. В процессе изготовления кабеля выкачивается воздух, и полость заполняют маслом (важно, чтобы отсутствовали воздушные зазоры). Во время эксплуатации происходит нагревание, и масло расширяется. Изменение объема масла регулируются компенсационными резервами, соединенных с концами кабеля. Давление в них поддерживается сжатым воздухом. Масло внутри кабеля позволяет ему свободно перетекать при расширении или сжатии. Объем гидравлической системы выбирается опираясь на длину кабеля, чтобы в случае короткого замыкания риск механического повреждения был минимальным.

Маслонаполненные кабели чрезвычайно устойчивы к старению. Они так же отличаются тем преимуществом, что в них возможен постоянный мониторинг давления масла. Поэтому на сегодняшний день маслонаполненные кабели остаются наиболее надежными в эксплуатационном отношении среди всех высоковольтных кабелей.

Маслонаполненные кабели классифицируются по допустимому давлению и конструкции. По давлению кабели делятся на низкого давления (0,0245-0,294 Мпа) и высокого (1,08-1,57 МПа); по конструкции – на кабели с центральным маслопроводящим каналом и кабели в стальном трубопроводе.

Для сооружения кабельных линий 150 кВ до настоящего времени применялись только кабели с центральным маслопроводящим каналом в свинцовой или алюминиевой гофрированной оболочке. Для сооружения кабельных линий 220 кВ в городах – кабели низкого давления и высокого давления. Маслонаполненные кабели 110 кВ прокладываются в земле, туннелях, галереях туннельного типа, производственных помещениях, через водные пространства. Для глубоких вводов электроэнергии в города применялись

кабели высокого давления. Длина кабельных линий при этом составляло 3-15 км. Электроснабжение промышленных предприятий преимущественно осуществлялось кабелями низкого давления.

Последним этапом работы по прокладке и монтажу маслонаполненных кабельных линий является сдача их в эксплуатацию. Так как испытания, проводимые на линии, не могут выявить всех дефектов линии, то согласно правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей организация должна осуществлять технический надзор на всех этапах сооружения линии.

Технический надзор включает в себя как проверку выполненных основных работ, так и участие представителей организации в процессе прокладки кабеля, монтажа муфт и их вакуумно-масляной обработки. В процессе сооружения линий представитель организации проверяет:

- соответствие проекту марки кабеля;
- ведение журнала записи величин давления масла в кабеле во время хранения на барабанах;
- наличие заводских протоколов на кабель;
- внешнее состояние барабанов, доставленных к месту прокладки (плотность намотки, надежность крепления конца кабеля, отсутствие течей масла через каппы и в арматуре, и т.д.);
- качество выполненных строительных работ и их соответствие проекту;
- соответствие проекту расположения и размеров траншеи;
- осуществление мер по антикоррозионной защите, предусмотренные проектом и тех, которые не могли быть учтены проектом;
- осуществление мер по защите кабеля от механических повреждений в местах пересечения или сближения с существующими и проектируемыми сооружениями ;
- наличие дополнительной теплоизоляции теплопровода в месте пересечения трассы кабельной линии;
- отсутствие деревьев на расстоянии 2 м от кабелей;
- отсутствие повреждений на других подземных сооружениях, находящие в зоне работ;
- наличие вешек на трассе в местах, не имеющих привязок к постоянным наземным сооружениям.

Представитель организации наблюдает за прокладкой кабеля, контролирует переключения в схеме подпитки маслом, осматривает кабель перед засыпкой песком или стабилизированным грунтом, наблюдает за укладкой защитных железобетонных плит и прокладкой контрольного кабеля, проверяет выполнение инструкций по монтажу муфт и их вакуумно-масляной обработке. При работах зимой проверяется достаточность разогрева кабеля перед прокладкой, которая определяется проектом производства работ. Разогрев кабеля проверяется путем измерения давления масла в кабеле и подпитывающем баке, находящемся внутри барабана.

После окончания всех монтажных работ организации передается техническая документация. После ознакомления с ней организация перед

включением линии под нагрузку проводит визуальный осмотр трассы и сооружений, после чего линия подвергается испытанию.

Литература

1. Маслонаполненные кабели. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.proelectro.ru/spravochnikpo-kabelyu/maslonapolnennye-kabeli>. - Дата доступа 20.10.2020.
2. Маслонаполненные кабели 110кВ / Г. П. Макиенко, Л. В. Попов. – Москва: Энергия, 1979. – 104 с.
3. Калимуллина, Д.Д. Потребности в строительстве изолированных проводов среднего класса напряжения. / Д. Д. Калимуллина, А. М. Гафуров - Инновационная наука. - 2016.- № 3-3. – 84-85 с.

УДК621.311

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЛИНИЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Заруба И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Прокопенко В.Г.

Линии постоянного тока – это совокупность электроустановок, проводов и аппаратов, служащих для преобразования переменного тока в постоянный для дальнейшей его передачи на большое расстояние, с последующем его преобразованием в переменный. Электропередачи постоянного тока нулевой длины (вставки постоянного тока) используют для связи двух независимых энергосистем, работающих с различными частотами, либо для несинхронной работы систем одной номинальной частоты, но с различными принципами и средствами ее регулирования (в этом случае выпрямитель и инвертор расположены на одной подстанции), в подземном и подводном исполнении длиной более 50 км, в наземных соединениях длиной более 800 км. Также электропередача постоянного тока может быть выполнена с числом более двух преобразовательных подстанций (многоподстанционная электропередача), которая предназначена для связи нескольких систем.

Принцип работы электропередачи постоянного тока можно рассмотреть на ее простейшей схеме (рис. 1). Электропередача содержит по концам две преобразовательные подстанции Π_1 и Π_2 и линию электропередачи постоянного тока, которая может быть воздушной либо кабельной.

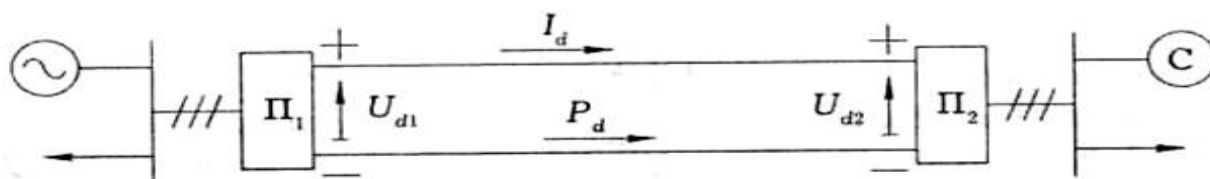


Рисунок 1 – Принципиальная схема электропередачи постоянного тока

Если передача мощности осуществляется от электростанции в приемную систему, то подстанция Π_1 будет работать в выпрямительном режиме, а Π_2 – в инверторном. При этом на подстанции Π_1 , получающей активную мощность от электростанции, будет происходить преобразование трехфазного переменного тока в постоянный ток, а на подстанции Π_2 – обратное преобразование постоянного тока в переменный и выдача активной мощности в систему. При передаче активной мощности по такой схеме часть ее будет теряться в оборудовании подстанций и в линии.

Мощность P_d , передаваемая по линии, будет зависеть от тока I_d в ней, который может изменяться регулированием соотношения напряжений U_{d1} и U_{d2} соответственно на подстанциях Π_1 и Π_2 . Напряжение U_{d2} на инверторной подстанции Π_2 направлено встречно относительно напряжения выпрямительной подстанции Π_1 и I_d тока.

Целый ряд преимуществ может быть получен за счет способности вентильных преобразователей выполнять функции быстродействующего выключателя и очень совершенного регулятора передаваемой мощности.

Следует отметить, что при связи двух энергосистем на постоянном токе аварийные режимы в одной из энергосистем не отражаются на работе другой энергосистемы столь непосредственно, как это происходит при связи на переменном токе. Кроме того, исключается подпитка места короткого замыкания в одной энергосистеме со стороны другой. Поэтому объединение энергосистем или ввод дополнительной мощности в энергосистему через электропередачу постоянного тока не приводит к увеличению токов короткого замыкания и не требует соответствующей замены всего оборудования, и, прежде всего, выключателей.

Одно из основных отличий линий постоянного тока от линий переменного – отсутствие индуктивного сопротивления, что значительно улучшает передачу электроэнергии. Преобразовательные подстанции из-за сложного и дорогостоящего оборудования значительно увеличивают стоимость передач постоянного тока. В то же время, сама линия постоянного тока стоит дешевле, чем линии электропередач переменного тока из-за меньшего количества проводов, изоляторов, линейной арматуры и более легких опор. Поэтому выбор линий постоянного тока экономически оправдан при их очень большой длине, когда удорожание подстанций компенсируется удешевлением линии.

Как упоминалось ранее, на нормальный режим работы линии постоянного тока не оказывают влияния ее реактивные параметры – индуктивность и емкость. Это значит, что падения напряжения на ней гораздо меньше, чем на линии переменного тока. Это создает предпосылки для увеличения радиуса действия линии постоянного тока по сравнению с линиями электропередачи переменного тока. При этом ни при каких длинах не возникает ограничений передаваемой мощности по условиям устойчивости параллельной работы генераторов.

Существенны выгоды постоянного тока для кабельных линий, поскольку условия работы изоляции кабелей при постоянном напряжении несравненно легче, чем при переменном. Это позволяет повышать номинальное напряжение кабельных линий и при одной и той же толщине изоляции повышать пропускную способность в 2 - 4 раза. Помимо этого, при использовании постоянного тока отпадает понятие «ограничение длины» кабельной линии (т.е. отсутствует критическая длина кабельной линии).

Благодаря практически безынерционному регулированию преобразователей межсистемная связь по линиям электропередачи постоянного тока может осуществляться по строго заданной программе, например, с целью поддержания частоты, баланса активной мощности, демпфирования низкочастотных колебаний и т.д.

Литература

1. Передача электрической энергии /Н. Н. Тиходеев. Под ред. В.И. Попкова. – 2-3 изд., перераб. и доп. – Л., 1984. – 248 с.
2. Передача энергии и электропередачи: Учебное пособие для студентов энергетических специальностей вузов. / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин. - Мн.: Адукацыя і вихаванне - 2003.- 554 с.

УДК621.311

**УЧЁТ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Распределительная электрическая сеть – это сеть, предназначенная для распределения электроэнергии, получаемой от источников питания, по территории электроснабжаемого района и непосредственная её подача к приёмникам и потребителям[1].

Характерными качествами распределительных электрических сетей (РЭС) является их массовость. На РЭС расходуется более 50% проводниковых материалов, используемых для передачи и распределения электроэнергии в энергосистемах; в них происходит более 50% суммарных потерь электроэнергии. Поэтому при проектировании распределительных сетей нужно учитывать ряд факторов, чтобы минимизировать потери электроэнергии.

Выбор количества и мощности силовых трансформаторов.

Количество и номинальная мощность трансформаторов должны соответствовать мощности нагрузки и ее плотности (kВт/м^2). Чем больше плотность нагрузки, тем более мощными должны быть трансформаторы. Применение трансформаторов большой мощности при малой плотности нагрузки приводит к увеличению протяженности сети низкого напряжения, а значит, к увеличению ее стоимости и возрастанию потерь в ней. Использование трансформаторов малой мощности при большой плотности нагрузки повлечет за собой увеличение необходимого количества трансформаторов, возрастание их общей стоимости и потерь энергии в них. Потери увеличиваются за счет холостого хода трансформаторов.

Выбор мест расположения источников питания.

Под источниками питания понимают трансформаторные и распределительные подстанции и т.д.. Правильный выбор мест расположения источников питания исключает или сводит к минимуму обратные потоки мощности в сети, являющиеся причиной дополнительных потерь энергии, и позволяет снизить затраты на сооружение сети.

Существует несколько способов определения мест размещения источников питания. Место источника питания на плане объекта задается его расчетными координатами (координаты центра нагрузок). Одним из наиболее простых и относительно надежных методов вычисления расчетных координат является метод «центра тяжести».

Координаты центра тяжести рассчитываются по следующим формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}, \quad (1)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}, \quad (2)$$

где S_{pi} - расчётная мощность i -го потребителя;

(x_i, y_i) - координаты нагрузки i -го потребителя.

По разным причинам не всегда бывает возможным расположить ТП в центре электрических нагрузок. В таком случае ТП располагается с учётом реальных условий, но с максимальным приближением электрических нагрузок.

Формирование рациональной конфигурации схемы системы электроснабжения.

Конфигурация (вид) схемы формируется в зависимости от категории нагрузки по степени допустимой бесперебойности питания с учетом стоимости сети и минимизации расчетных потерь энергии в ней.

Выбор экономически обоснованных сечений проводников.

При относительно больших годовых продолжительностях максимума на технико-экономические характеристики функционирования ЛЭП существенно влияет соотношение между ее стоимостью и потерями энергии в ней. В связи с этим сечение проводников выбирается по экономической плотности тока[2].

$$F = \frac{I_p}{J_э}, \quad (3)$$

где I_p – расчётный ток в час максимума энергосистемы, А;

$J_э$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Однако в распределительных сетях, проектируемая схема которых радиальная, I_p снижается по мере удаления от центра питания. Поэтому если F выбрать одинаковыми, то для удалённых участков они окажутся завышенными. Поэтому при проектировании распределительных сетей следует использовать другие методы определения сечения проводников, опираясь на допустимые потери напряжения.

Рациональное размещение источников реактивной мощности.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) является высокоэффективным средством энергосбережения и улучшения качества электроэнергии по напряжению. Кроме того, КРМ увеличивает пропускную способность линий электропередачи, силовых трансформаторов, коммутационно-защитных электроаппаратов и других силовых элементов систем электроснабжения. Уменьшение потерь мощности в сетях и электроустановках потребителя, связанное с КРМ, позволяет снизить долю участия потребителя в максимуме нагрузки питающей энергосистемы.

В процессе реконструкции и проектирования развития разомкнутых электрических сетей приходится определять число и месторасположение

центров питания, радиусы действия и сечения проводов воздушных линий, мощности трансформаторов понижающих подстанций и другие характеристики сети. Данные задачи носят технико-экономический характер, т.е. в качестве целевой функции следует принимать минимум стоимости электроэнергии при соблюдении условий по техническим ограничениям. Эти задачи усложняются тем, что распределительная сеть 6-20 кВ необходимо рассматривать только в динамике, как постоянно развивающуюся вследствие естественного прироста электропотребления. Это обуславливает необходимость разработки плана предстоящих работ по реконструкции и развитию сети на текущее пятилетие. Прежде всего в него должны быть включены пространственно-временные координаты замены проводов и мощностей трансформаторов на более оптимальные значения с оценкой экономической эффективности данных мероприятий. Основным фактором, ограничивающим пропускную способность распределительных сетей, служат допустимые потери напряжения. Стоимость серийно выпускаемого для этих сетей оборудования относительно невелика. Поэтому экономические интервалы сечений проводов и мощностей трансформаторов находятся около или за пределами технических ограничений трансформаторов. Экономическая загрузка трансформаторов в большинстве случаев находится за пределами номинальной, тогда как по условиям их допустимой нагрузочной способности она составляет 1.6-1.7 от номинальной. В рассмотренных условиях реализации задач выбора оптимального сечения провода или мощности трансформатора при известном законе ежегодного прироста нагрузок не является простой. Для решения данных задач разработаны программы для ЭВМ. Опытно-промышленная эксплуатация программ подтвердила теоретическое предположение о возможности повышения эффективности использования капитальных вложений в распределительных электрических сетях и снижения потерь электроэнергии в них за счёт внедрения рассматриваемых мероприятий [3].

Литература

1. Поспелов, Г.Е. Электрические системы и цепи/ Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев.- Минск: «Вышэйшая школа»,2012.-121 с.
2. ПУЭ-6.Правила устройства электроустановок.- Минск: «ЭНЕРГОПРЕСС», 1985.-123с.
3. Фурсанов, М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях/ М.И. Фурсанов.- Минск, 2006.-135 с.

УДК621.311

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ**

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Макаревич В.В.

Распределительные электрические сети являются завершающим звеном в системе обеспечения электроэнергией потребителей, поэтому в них должна обеспечиваться надёжная и качественная работа. С каждым годом непрерывно возрастают требования к надёжности и бесперебойности электроснабжения к предприятиям, учреждениям, организациям материального производства и другим объектам народного хозяйства.

В Республике Беларусь выпущены методические рекомендации по автоматизации распределительных электрических сетей 0.4-10 (6) кВ. Данные рекомендации были введены из-за того, что в данных сетях не менее 70 % всех нарушений электроснабжения и низкие показатели надёжности электроснабжения потребителей. Главной причиной вышесказанного является слабая оснащённость распределительных сетей коммутационными аппаратами и низкий уровень автоматизации.

Прежде чем оснащать сеть новыми коммутационными аппаратами и производить её автоматизацию, предусматривается совершенствования схем построения распределительных электрических сетей.

Схема автоматизации распределительных сетей (РС) рассматриваемого района электрической сети должна основываться на базе разработанной и утвержденной схемы развития РС 10 (6) кВ. Схема развития электрических сетей рассматриваемого района электрических сетей должна включать в себя анализ существующих электрических сетей и разработку схемы с учетом категории существующих и перспективных потребителей на долгосрочную перспективу (до 10 лет), а также с учетом перспективного развития электрических сетей 110 кВ и выше.

При построении схемы развития электрических сетей 10 (6) кВ необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- при проектировании новых линий электропередачи или их реконструкции должен быть осуществлен переход от радиальной структуры построения к кольцевой с организацией точек нормального токораздела;
- магистральные участки линий электропередачи должны по кратчайшей трассе соединять шины питающих подстанций, расположенных в центрах районных нагрузок;
- магистральные участки линий электропередачи, как правило, должны проходить через населенные пункты, в которых сконцентрированы электроприемники 1-й и 2-й категорий по надёжности электроснабжения, а также через объекты агропромышленного комплекса, имеющие перспективу развития и повышенные требования к бесперебойному и качественному обеспечению электроэнергией.

- магистральные участки линий электропередачи должны быть выполнены проводом одного сечения (не менее 70 мм²), которое должно быть определено на основании расчетов и дополнительно проверено по условию допустимых падений напряжений в нормальном и послеаварийном режимах работы электрической сети на зажимах распределительных устройств конечных потребителей с учетом наличия РПН силовых трансформаторов питающих подстанций 110 (35) кВ и положений ответвлений ПБВ силовых трансформаторов в ТП 10 (6) кВ;
- подключение потребителей 3-й категории по надежности электроснабжения должно осуществляться ответвлениями от магистрали (отпайками);
- подключение потребителей 2-й категории по надежности электроснабжения с наличием второго источника питания допускается осуществлять ответвлениями от магистрали (отпайками).
- длина отходящих линий электропередачи 10 (6) кВ от питающих подстанций 110 (35) кВ должна определяться с учетом технико-экономических обоснований.
- на основании технико-экономического обоснования для ограничения длины участка магистральной линии электропередачи должны быть установлены устройства автоматического секционирования электрической сети. В случае значительной удаленности ближайшего РУ 10 (6) кВ, ТП 10 (6)/0,4 кВ от расчетной точки секционирования следует применять к установке реклоузеры;
- при значительной удаленности района электроснабжения от центра питания и пониженном уровне надежности распределительной электрической сети должны быть применены РП 10 (6) Кв[1].

1 сентября 2017 года вступил в действие технический кодекс установившейся практики 609-2017 (33240) «Автоматизация распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ».

Данный кодекс предусматривает создание кольцуемых перемычек для радиальных сетей, совершенствование участков линий, предназначенных для основного транзита мощности, сокращение общей протяженности линии, дополнительное секционирование магистральных и глухих отпайек на основании технико-экономических расчетов.

Также в данном кодексе рассмотрены подходы к управлению автоматическими переключениями:- централизованное управление (команды на переключение коммутационных аппаратов формируются верхним уровнем автоматизации района электрических сетей с использованием специализированного программного обеспечения, позволяющего анализировать телеметрическую информацию, поступающую от объектов автоматизации и динамической модели сети, сформированной на базе паспортизации электрооборудования);- децентрализованное управление (команды на переключение формируются непосредственно на объекте автоматизации на

основе данных о действиях релейной защиты и автоматики);- комбинация централизованного и децентрализованного управления [1].

На данный момент в Беларуси разрабатывают интеллектуальную систему передачи электроэнергии. Проект SmartGrid позволит пользователю самостоятельно отслеживать и распределять потоки электричества, что даст возможность максимально эффективно использовать энергию. «Умные сети» смогут контролировать и управлять энергосистемой как отдельных зданий и городских районов, так и системой всего мегаполиса. С помощью данного проекта в автоматическом режиме можно ликвидировать аварию, а зачастую и предупредить её.

Литература

1. ТКП 609-2017 (33240) «Автоматизация распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ». - Минск: РУП «БелТЭИ», 2017 -1 0с.

УДК621.311

**ИНДЕКСЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ
ИХ УВЕЛИЧЕНИЯ**

Ковцова Д.Г.

Научный руководитель — старший преподаватель Макаревич В.В.

С каждым днем люди потребляют всё больше и больше электричества и рассчитывают получить его без перебоев. В связи с этим на энергетическое предприятие вынужденно предъявлять доказательства надежности распределения электроэнергии.

Под надежностью электрической сети понимают способность выполнять требуемую функцию в заданных условиях в течение заданного интервала времени, при нормативных уровнях напряжения и в соответствии с заданным графиком нагрузки. Надежность зависит от участков сети, параметров элементов и схемой их соединения.

Если объект находится в неработоспособности состоянии, то говорят об его отказе. Если произошел отказ отдельных элементов, то может произойти отказ всего участка. Таким образом электроснабжение потребителей будет нарушено, прекратится питание, напряжение будет отклонено от допустимых пределов.

Надежность системы электроснабжения может быть повышена либо за счет сокращения продолжительности перерывов в электроснабжении, либо за счет снижения частоты возникновения перерывов.

Вероятность того, что компонент в системе выйдет из строя, обычно увеличивается, когда число компонентов увеличивается.

В целях регистрации и классификации причин перебоев в электроснабжении и определения количества перебоев в соответствии с международным стандартом используются следующие 3 индексов:

1. Индекс средней продолжительности прерывания системы (SAIDI) – количество прерываний на одного потребителя в год.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n T(i)}{N}, \quad (1)$$

где $T(i)$ – суммарное время отключений потребителей(i),

$t(i)$ – время перерыва(ч),

N – общее число потребителей.

2. Индекс средней частоты прерываний системы (SAIFI) – среднее время прерываний на одного потребителя в год.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi(i)}{N}, \quad (2)$$

где $\varphi(i)$ – общее число отключений(i);

i – число перерывов, от 1 до n ;

N – общее число потребителей.

3. Индекс средней продолжительности прерывания потребителя

(CAIDI) - среднее время прерывания на одного потребителя, пострадавшего от прерывания в год.

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n T(i)}{\sum_{i=1}^n Ч(i)}, \quad (3)$$

где $T(i)$ – суммарное время отключений потребителей(i);

i – число перерывов, от 1 до n ;

$Ч(i)$ – общее число отключений(i).

Индексы служат ценным инструментом для сравнения надежности работы электрических сетей. В Белорусской энергосистеме также используются мировая практика применения данных показателей.

Индексы надежности электроснабжения за январь- август 2020 г. (с нарастающим итогом)				Индексы надежности электроснабжения за январь-август 2019 г. (с нарастающим итогом)			
	SAIFI	SAIDI, ч	CAIDI, ч	SAIFI	SAIDI, ч	CAIDI, ч	
Барановичские ЭС	0,8627	0,5955	0,69	1,0482	1,1448	1,09	
Пружанские ЭС	0,3251	0,3864	1,19	0,4194	0,8169	1,95	
Брестские ЭС	0,6232	0,6333	1,02	0,9175	0,7946	0,87	
Пинские ЭС	0,7788	0,532	0,68	0,9352	1,2538	1,34	
РУП Брестэнерго	0,728	0,5798	0,8	0,9389	1,0406	1,11	
Витебские ЭС	0,6306	0,6481	1,03	0,5379	0,621	1,15	
Глубокские ЭС	0,8309	1,4246	1,71	1,0353	2,2526	2,18	
Оршанские ЭС	0,8165	0,8057	0,99	0,6576	0,5189	0,79	
Полоцкие ЭС	0,6601	0,8383	1,27	0,7809	0,9338	1,2	
РУП Витебскэнерго	0,7039	0,8491	1,21	0,7036	0,9407	1,34	
Гомельские ЭС	0,8943	0,6747	0,75	0,797	1,1113	1,39	
Жлобинские ЭС	0,6741	0,7376	1,09	0,6254	0,689	1,1	
Мозырские ЭС	0,9194	0,4231	0,46	0,889	2,1496	2,42	
Речицкие ЭС	0,7801	0,645	0,83	0,4893	0,6204	1,27	
РУП Гомельэнерго	0,8482	0,6202	0,73	0,7364	1,198	1,63	
Волковыские ЭС	0,5389	0,5761	1,07	0,715	0,5554	0,78	
Гродненские ЭС	0,2252	0,2795	1,24	0,2015	0,2285	1,13	
Лидские ЭС	0,3171	0,2929	0,92	0,2183	0,1634	0,75	
Ошмянские ЭС	0,8494	0,9191	1,08	0,7469	0,6015	0,8	
РУП Гродноэнерго	0,4026	0,4379	1,09	0,3976	0,3401	0,86	
Борисовские ЭС	1,0273	1,3564	1,32	0,7536	0,8981	1,19	
Минские ЭС	0,8839	1,3027	1,47	0,6102	0,7022	1,15	
Молодеченские ЭС	0,6161	0,5228	0,85	0,4334	0,2979	0,69	
Слуцкие ЭС	0,3034	0,2867	0,95	0,3946	0,4943	1,25	
Столбцовские ЭС	0,7183	1,0683	1,49	0,5789	0,6861	1,19	
Минские КС	0,2842	0,2758	0,97	0,4568	0,4266	0,93	
РУП Минскэнерго	0,5181	0,6217	1,2	0,5156	0,5378	1,04	
Бобруйские ЭС	0,3371	0,3237	0,96	0,3663	0,4374	1,19	
Климовичские ЭС	0,4016	0,3879	0,97	0,4216	0,5849	1,39	
Могилевские ЭС	0,4651	0,3441	0,74	0,437	0,3996	0,89	
РУП Могилевэнерго	0,4156	0,3446	0,83	0,4127	0,4348	1,05	
ГПО Белэнерго	0,5947	0,5919	1	0,606	0,7224	1,19	

Рисунок 1 – Индексы надежности электроснабжения РБ за январь-август 2020 годом в сравнении с 2019 годом

Некоторые страны, в том числе Финляндия, ввели в действие правила, требующие от операторов распределительных сетей выплачивать компенсацию потребителям за длительные перерывы в распределении электроэнергии. Кроме того, стареющая сетевая инфраструктура и растущее использование возобновляемых источников энергии вынуждают коммунальные компании повышать видимость сети.

Есть несколько способов улучшить SAIDI и SAIFI. Одним из наиболее новых решений является автоматизация сетей путем модернизации ее в микрорешетки. Благодаря таким микрорешеткам станет возможным быстрое восстановление неисправностей и улучшение реконфигурацию сети. И еще

одним доступным способом является установка реклоузеров, благодаря которым получится сократить количество и длительность отключений.

Литература

1. Белэнерго [Электронный ресурс] // Индексы, которые характеризуют надежность системы электроснабжения. *Режим доступа:* https://www.energo.by/content/infocenter/actual/indeksy-kotorye-kharakterizuyut-nadezhnost-sistemy-elektrosnabzheniya__26/ // *Дата доступа:* 05.10.2020.
2. Новости [Электронный ресурс] // Индексы, которые характеризуют надежность системы электроснабжения. *Режим доступа:* <http://energy-on-line.ru/news/137/> / *Дата доступа:* 05.10.2020.
3. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. / В.А.Острейковский – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

УДК621.311

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ MICROGRID В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Ковцова Д.Г.

Научный руководитель — старший преподаватель Макаревич В.В.

Развитие электрических распределительных сетей обусловлено постоянным изменением потребностей населения, совершенствованием оборудования электроэнергетического, разнообразием условий территории и технологией потребления электроэнергии. Люди стремятся жить в экологически чистых районах, а все производственные предприятия перенести из центра за городскую черту. При этом потребность в электроэнергии растет, появляется необходимость в строительстве распределительных сетей, к повышению ее пропускной способности и надежности, дешевизне.

Таким образом, повышению КПД и снижение себестоимости, расширение альтернативных источников энергии, наличии в некоторых частях Республики Беларусь источников относительно дешевого топлива является ключевым фактором в реконструкции существующих РЭС в новые независимые энергосистемы, с возможностью к присоединению малой генерации.

Возможно, такие виды малой генерации, как топливные элементы, микротурбины, ветровые турбины, фотоэлектрические и нагревательные солнечные батареи, гидроустановки, геотермальные и газопоршневые установки.

Для работы небольших распределенных энергосистем необходимы накопители энергии, благодаря которым легко и быстро нейтрализовать небаланс активной и реактивной мощности, а также системы автоматического управления (САУ). САУ обеспечивает возможность решения схемно-режимных ситуаций, включающем нормальные, ремонтные. Аварийный и послеаварийные режимы.

Небольшие автоматически-управляемые РЭ, обладающие четкими территориальными границами, получили название Microgrids (МГ).

Система МГ — это альтернативная электрическая сеть, которая может быть использована для удовлетворения потребностей в электроэнергии будущего. В МГ система состоит из нескольких источников питания, которые могут использовать возобновляемые источники энергии. Система работает автономно, поэтому требуется сложная система управления, регулирующая работу МГ. Реализация её может быть осуществлена с помощью инвертора ГТИ, так она может передавать энергию в/из сети. Передача энергии может происходить от сети к сети, когда сеть имеет избыток мощности, и сеть, поставляющая энергию в сеть, когда сеть испытывает дефицит мощности. Распределение мощности между параллельными ГТИ основано на входной мощности каждого из ГТИ, при недостатке мощности будет подаваться из сети.

Если МГ отключится от системы, то должны продолжать энергоснабжение своих внутренних потребителей с необходимой надёжностью и безопасностью, с соблюдением нормативных требований к качеству электроэнергии.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для удовлетворения спроса на электрическую энергию становится все более актуальным в качестве решения проблемы дефицита электрической энергии. Внедрение МГ систем обеспечивает множество преимуществ как со стороны пользователя, так и со стороны поставщика электроэнергии. Многие разработки microgrids осуществляются в нескольких странах, поскольку они предлагают множество преимуществ, в том числе лучшее качество электроэнергии и более экологичные.

Microgrid может действовать для снижения затрат на электроэнергию для своих пользователей, генерируя некоторые или все свои потребности в электроэнергии. Также для повышения энергоэффективности допускается использование как электричества, так и тепла, чтобы приблизить генератор к пользователю.

Традиционные электрические сети находятся в эпоху значительного перехода от пассивных распределительных сетей с однонаправленной транспортировкой электроэнергии к активным распределительным сетям с двунаправленной транспортировкой электроэнергии. Активные распределительные сети должны включать гибкие и интеллектуальные системы управления, чтобы использовать чистую энергию из возобновляемых источников энергии. Для фактического внедрения МГ и активных распределительных сетей на коммерческой основе необходимы обширные исследования, но не ограничиваясь ими в следующих областях: зона активного управления, адаптивная защита и управление, устройства управления сетью, моделирование сети в реальном времени, усовершенствованные датчики и измерения, распределенная всепроникающая коммуникация, извлечение знаний интеллектуальными методами и новая конструкция систем передачи и распределения.

Microgrids, как активные сети низкого и среднего напряжения, потенциально могут принести огромную пользу основной энергосистеме за счет повышения ее энергоэффективности, качества электроэнергии и надежности для потребителей. Однако необходимо решить большое количество технических и нормативных вопросов, необходимо тщательно рассмотреть их до начала реализации. Это требует серьезных исследований и государственного вмешательства во всем мире.

Преимущества Microgrid:

- обладает способностью во время нарушения работы коммунальной сети легко отделяться и изолироваться от коммунальной сети с небольшим или вообще без нарушения нагрузок внутри системы;
- в периоды пиковой нагрузки может предотвратить отказ коммунальной сети, уменьшив нагрузку на сеть;
- имеет экологические преимущества, возможные при использовании генераторов с низким или нулевым уровнем выбросов;
- для повышения энергоэффективности допускается использование как электричества, так и тепла, чтобы приблизить генератор к пользователю;

- может действовать для снижения затрат на электроэнергию для своих пользователей, генерируя некоторые или все свои потребности в электроэнергии.
- Недостатки:
- необходимо учитывать и контролировать параметры качества напряжения, частоты и мощности до приемлемых стандартов при сохранении баланса мощности и энергии;
- электрическая энергия должна храниться в батарейных банках, что требует больше места и технического обслуживания;
- сложность ресинхронизации с инженерной сетью;
- защита является одной из наиболее важных задач, стоящих перед их внедрением;
- такие проблемы, как резервные сборы и чистый замер, могут создавать препятствия для МГ.

Расширение городов, развитие промышленности, необходимость к совершенствованию и увеличению передаваемой мощности потребителю, сложность в строительстве и дороговизна электрических сетей является поводом к созданию нового уровня развития распределительных сетей.

Ввиду особенностей физических процессов, происходящих в сетях среднего и низкого напряжения, МГ не могут быть созданы путём простого присоединения распределённой генерации к существующим РС.

Поскольку Microgrid включает в себя множество разнородных внутренних энергетических источников, управляемых электроустановок потребителей, накопителей энергии и к тому же сам подключён к источникам внешнего электроснабжения, МГ должна в темпе реального времени решать и технические, и экономические задачи.

В нашей стране, такие системы могут быть применены в местностях, где отсутствует централизованное электроснабжение, на территориях, расположенных вдали от крупных населённых пунктов, на объектах добывающей промышленности, в туристических центрах, на военных объектах и прочих.

Литература

1. Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. SakisMeliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto, «White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept», LBNL-50829, 2002 г.
2. Schneps-Schneppe M. et al. Wired Smart Home: energy metering, security, and emergency issues //Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2012 4th International Congress on. – IEEE, 2012. – С. 405-410.
3. Конев А.В., Куприяновский В.П., Бадалов А.Ю., Богданов А.Г., Волков С.А., Синягов С.А. Энергетика, SmartGrid, интеллектуальные транспортные сети. Практические возможности в России. ArcReview 2 (61), 2012.
4. ИУС для электроэнергетики [Электронный ресурс] //Распределительные сети и Микрогрид. Режим доступа: <http://www.mka.ru/categories/83/904/> //Дата доступа: 10.10.2020.

УДК 621.311

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОНЕСУЩЕГО
ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА БЕЗ ОТДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ ЖИЛЫ В
МАГИСТРАЛЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ**

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Возрастающий спрос на электроэнергию в последние годы, а также постепенный износ основных фондов электроэнергетической сферы вызывают необходимость в их модернизации. Одной из составных частей модернизации в области электроэнергетики является реконструкция распределительных сетей 0,4 кВ.

Необходимость данного направления деятельности обусловлена спецификой сетей данного класса напряжения, их изношенностью, ростом бытовой нагрузки. Одна из характерных черт бытовой нагрузки нашей страны – это значительный рост электропотребления для отопления и горячего водоснабжения за последний год – 36 миллионов кВт·ч на май 2020 года, по сравнению с 13 миллионов кВт·ч за весь предыдущий год. Это было отмечено министром энергетики во время обсуждения актуальных вопросов энергетической области в июне [3]. На основании вышеперечисленного, а также принимая во внимание положения действующих программы [4] и плана [5] развития электроэнергетической сферы можно сделать вывод о актуальности модернизации электросетей 0,4 кВ.

Согласно действующему ТКП [13] линии электропередач до 1 кВ рекомендуется выполнять с применением самонесущих изолированных проводов (СИП). Однако существующий широкий спектр типов данных проводов, различные методики их применения, вызывают ряд проблем и вопросов, связанных с проектированием, монтажом и эксплуатацией этих линий.

Опыт строительства и эксплуатации традиционных систем электроснабжения – воздушных линий (ВЛ) 0,4 кВ с «голыми» проводами показал их недостаточную надёжность, высокие трудозатраты при возведении и монтаже, а также при эксплуатации, необходимость постоянного внедрения мероприятий по уменьшению количества аварийных отключений. Всё это определяет необходимость внедрения технологии, позволяющее исключить перечисленные выше недостатки или снизить их негативное влияние на эффективность работы распределительных сетей. Такой технологией на современном этапе развития сетей стал СИП.

Преимущества линий электропередач с использованием СИП можно объединить в три группы [2].

Первая группа – преимущества, которые сказываются при проектировании и монтаже.

- Простота конструктивного исполнения линии (отсутствие траверс и изоляторов, применения стоек опор меньшей длины, простота исполнения многоцепных линий и др.).
- Уменьшение безопасных расстояний от зданий и инженерных

сооружений.

- Возможность прокладки СИП по стенам зданий и сооружениями.
- Отсутствие необходимости в вырубке просеки перед монтажом, простота монтажных работ и, соответственно, уменьшение сроков строительства.

Вторая группа – преимущества эксплуатации и безопасность. В эту группу входят приведенные выше свойства электробезопасности и надёжности СИП, а также:

- Повышение электробезопасности и надёжности: изоляция на проводах позволяет проводить работы под напряжением, также исключается возможность коротких замыканий между проводами.
- Снижение веса гололеда и мокрого снега на проводах СИП по сравнению с неизолированными проводами.
- Высокая механическая прочность проводов и, соответственно, меньшая вероятность их обрыва.
- Пожаробезопасность, исключение коротких замыканий при схлестывании проводов или перекрытии их посторонними предметами.
- Уменьшение безопасных расстояний до зданий и инженерных сооружений.

Третья группа – преимущества, влияющие на качество электрической энергии, снижение технических и коммерческих потерь в воздушных распределительных сетях напряжением до 1 кВ.

- Снижение потерь напряжения и технических потерь электрической энергии вследствие малого реактивного сопротивления СИП по сравнению с традиционными ВЛ (0,1 Ом/км по сравнению с 0,35 Ом/км для неизолированных проводов).
- Снижение случаев вандализма и воровства. Температура плавления изоляции жил близка к температуре плавления алюминия. СИП практически не пригоден для вторичной переработки с целью получения цветного металла.

Целесообразность применения воздушных линий с изолированным проводом для снабжения жилой застройки показал опыт сетей города Воронеж. Это позволило увеличить показатели надёжность линий, улучшилось качество электроснабжения, снизились эксплуатационные издержки. Однако опыт также показал, что выполнение при помощи СИП воздушных линий и ответвлений к потребителям полностью не исключают возможность отбора (воровства) электроэнергии [6]. Представляется возможным отбор непосредственно с опор магистральных линий.

Описанные выше преимущества СИП также доказывает опыт его использования в Крымском регионе. Однако применение технологии СИП в данных условиях показывает важность необходимости учёта климатических условий региона при проектировании, монтаже и эксплуатации линии с использованием СИП. Так через три года эксплуатации линии прослеживались следы коррозии элементов ВЛИ [8], в частности зажимов проводов, что связано с агрессивной средой прибрежных районов. При этом важно отметить, что

корпус зажима имел цинковое покрытие, однако крепежный элемент зажима при монтаже частично повредил это покрытие.

Помимо уязвимости арматуры, также необходим тщательный подход к выбору изоляции ВЛИ, которая при разных условиях среды также может подвергаться разрушению. В рамках работы [10] был проведён эксперимент о возможности применения СИП для прокладки в подвальных помещениях в условиях повышенной влажности и эксплуатации провода в воде. Нагрузка составляла 100 А. СИП прослужил год, но в результате было определено разрушение изоляции и, как следствие, перекрытие между двумя фазными проводами. Вывод – для использования СИП в условиях повышенной влажности и эксплуатации провода в воде необходимо усилить изоляцию провода, и проводить дополнительные испытания напряжением 10 кВ в воде.

Типовое конструктивное исполнение СИП представляет собой жгут, скрученный из определенного количества жил в определенном порядке, одна из которых может выполнять функции несущего элемента линии. На данный момент широкое распространение получили 4 варианта исполнения самонесущего изолированного провода.

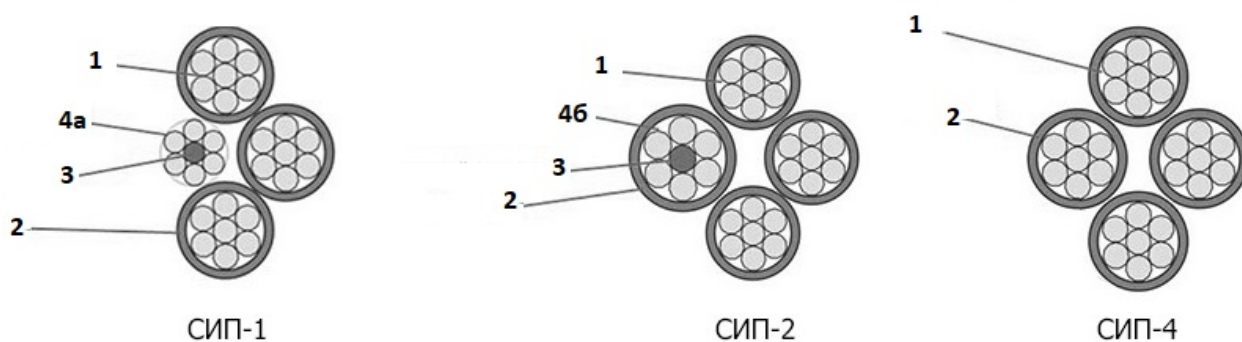


Рисунок 1 – варианты исполнения СИП

1 – фазная токопроводящая жила, 2 – изоляция, 3 – стальной сердечник, 4а – нулевая жила, несущая, неизолированная, 4б – нулевая жила, несущая, изолированная

СИП-1 – четырехжильный провод, три из них предназначены для трех фаз и оснащены термопластичной изоляцией, а четвертая для нулевого вывода, но она не изолирована. В нулевом проводнике центральная проволока выполнена из стали и является несущей.

СИП-2 – такой же четырехжильный вариант, как и предыдущий, с единственным отличием в том, что нулевой провод имеет изоляцию. В классическом исполнении нулевая жила изолируется термопластичным полиэтиленом, а в марке СИП-2А сшитым полиэтиленом, так же как и фазные.

СИП-4 – представляет собой парную систему, в которой каждая жила имеет свою пару, но, в отличие от предыдущих, у нее отсутствует отдельный несущий элемент, подвеска провода осуществляется за все 4 жилы. В качестве изоляции здесь применяется термопластичный полиэтилен.

СИП-5 – полностью идентичен с предыдущей маркой – также имеет парное число жил и не содержит жилы с несущим элементом. Единственным отличием является тип изоляции, покрывающей проводники, в марках СИП-5 и СИП-5Н

это сшитый полиэтилен, который позволяет повысить рабочий температурный предел до 30%.

Наиболее часто используемые типы: СИП-2, СИП-4 и СИП-5 (последние два отличаются лишь материалом исполнения изоляции). Во многих рекомендациях и пособиях по проектированию в магистралях линии рекомендуется использовать СИП-2 и его разновидности, а СИП-4(5) в качестве ответвлений к потребителю [2], [7]. При этом СИП-4(5) не рекомендуется использовать в магистралях в виду особенности изменения несущих свойств под нагрузкой. В случае провода без несущего элемента при эксплуатации растягивающие усилия воспринимают все жилы. Так как в анкерном зажиме для СИП-4(5) все четыре жилы принимают высокую механическую нагрузку, то та жила, которая греется больше, чем другие, будет вытягиваться. Поэтому нагрузка четырех проводов распространится на три или на два провода, что приведет к разрушению нулевой или токопроводящей жилы.

Для доказательства возможности применения самонесущих изолированных проводов без отдельной несущей жилы в магистралях линии рассмотрим несколько критериев.

Механическая прочность на разрыв. Как уже упоминалось, в данном типе самонесущего провода отсутствует выделенный несущий элемент, а подвеска СИП производится за все жилы одновременно, что увеличивает механическую прочность всей линии, если брать во внимание исключительно прочность материала и количество точек подвески. Таким образом прочность СИП определяется суммированием прочности всех жил. Для примера приведём данные о прочности на разрыв самонесущих проводов от крупного производителя СИП – ENSTO [2]. СИП-5, с сечением жил 50 мм^2 имеет прочность порядка $30,7 \text{ кН}$, что значительно выше, чем у СИП-2 с тремя силовыми жилами сечением 50 мм^2 и несущей жилой сечением 70 мм^2 – $20,6 \text{ кН}$ и даже выше прочности СИП-2 у которого несущая жила имеет сечение $95,6 \text{ мм}^2$, её прочность на разрыв составляет $27,9 \text{ кН}$. Такой большой выигрыш в прочности позволяет значительно увеличить длину пролетов.

Однако данные заключения справедливы в случае “холодного” провода. Как упоминалось выше проблема проявляется, когда под действием нагрузки одна жила нагревается больше остальных. Расчеты, проведённые в работе [12] показывают, что даже при увеличении в 2 раза тока в одной из жил удлинение составляет не более $0,01 \%$ от первоначальной длины провода в пределах одного анкерного пролета длиной 500 м , что является незначительным.

Таким образом можно сказать, что система СИП-4 не только не уступает системам с несущим проводником по прочностным характеристикам, но и превосходит.

Надежность. Изучая опыт эксплуатации СИП на постсоветском пространстве явных различий в показателях надёжности различных систем найти не удалось. Однако опыт зарубежного применения [11] демонстрирует, что в системах с отдельным несущим проводником возможна потеря, в следствие того, что к нему приложена вся механическая нагрузка. Обрыв нуля – серьёзная авария для всего оборудования, но для чувствительного

дорогостоящего оборудования потребителя в особенности. По этой причине применяется СИП с повторной нулевой жилой.

В системе СИП, где все проводники являются несущими, вероятность такой аварии практически равна нулю, помимо этого зажим выполнен таким образом, что они не дают разрушиться одной жиле в отдельности от других. Разрушение системы произойдёт применительно ко всем жилам так обеспечивается фактически исключение возможности таких аварий.

Изоляционные параметры и параметры проводника. По данным параметрам СИП-4(5) и СИП-2 имеют мало различий. Изоляционные материалы могут быть представлены как сшитым полиэтиленом, так и термопластичной изоляцией в обоих случаях.

Однако, как упоминалось выше для обеспечения такой же несущей способности системы СИП-2 и подобные имеют несущий нулевой проводник, выполненный из алюминиевого сплава – АВЕ («альмелек»)[2] с разрывной прочностью 300 Н/мм^2 , который имеет более высокие прочностные характеристики, но более трудоёмок в производстве и, следовательно, имеет большую стоимость (разрывная прочность алюминия в проводящих жилах – 175 Н/мм^2) Также данный проводник выполняется большим сечением, что в свою очередь повышает материалоемкость, габариты, вес и также негативно влияет на стоимостные показатели.

Монтаж. В области монтажа опыт показывает, что при применении СИП без отдельной несущей жилы осуществляется проще и исключена ошибка в закреплении провода не за несущую жилу, а за фазную. Это связано с тем, что отсутствует этап на котором происходит выделение несущей жилы из жгута с целью последующего её закрепления, в зажим закрепляются сразу все жилы.

Однако следует отметить, что монтаж СИП с выделенной несущей жилой осуществляется с применением меньшего количества арматуры и специализированных приспособлений, в отличие от систем без неё. Также зажимы для проводов с отдельным несущим элементом имеют более простую конструкцию, особенно это актуально при их монтаже на угловой анкерной опоре. В этом случае монтаж системы из двух анкерных зажимов для провода все жилы которого являются несущим затруднён, но в данный момент выпускаются поддерживающие зажимы обеспечивающие угол поворота линии до 90° , что частично решает проблему.

В связи с этим несмотря на меньшую стоимость провода без отдельной несущей жилы, общая стоимость при строительстве линии увеличивается за счёт большего количества арматуры и специализированного инструмента, а также за счёт большей трудоёмкости процесса монтажа. Поэтому необходим более подробный анализ экономической части сравнения вариантов.

Исходя из анализа рассмотренных критериев сравнения можно сделать вывод о возможности применения самонесущего изолированного провода без отдельной несущей жилы в магистрали линии.

Литература

1. Гафуров А.М. Основные особенности при выборе экономически выгодных сечений проводов / А.М. Гафуров, Р.М. Калимуллина, Л.И. Гимадеева // Инновационная наука. – 2016. – № 1-2 (13). – С. 31-33.
2. Логинова, С.Е. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 1. Система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1 кВ без отдельного несущего элемента/ С. Е. Логинова, А.В. Логинов Ред. 5, доп. С-Пб: ENSTO - ОАО «НТЦ Электроэнергетики» (РОСЭП), 2017 г. — 331 с.
3. Министр энергетики – о растущем спросе населения на электроэнергию для отопления и горячего водоснабжения// Сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/ministr-jenergetiki-o-rastushhem-sprose-naselenija-na-jelektroenergiju-dlja-otoplenija-i-gorjachego-vodosnabzhenija-a-takzhe-o-tom-kak-v-strane-budut-pri-rastat-kvartaly-mnogokvartirnyh-jelektrodomov/>. – Дата доступа: 28.09.2020
4. Об утверждении Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда на 2016–2020 годы» [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 апр. 2016 г., № 326: в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.12.2018 – Режим доступа: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_proframmi/#1592304744507-72a85e0b-feba. – Дата доступа: 28.09.2020
5. Об утверждении комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1мар. 2016 г., № 169:– Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/wpcontent/uploads/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD.pdf>. – Дата доступа: 28.09.2020
6. Опыт применения технологии СИП в г.Воронеже / ЗАО «Воронежпроект»// Сайт компании "Сикам Украина"[Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа:<http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 28.09.2020
7. Рекомендации по применению самонесущих изолированных проводов линейной арматуры на воздушных линиях 0,4 кВ// ООО "НИЛЕД-ТД" – Подольск: 2009 г. — 93 с.
8. Следы СИП на западном побережье Крыма есть!/Староверов В.Ю. // Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.starinfo-nic.ru/si/analitic/an_21.html. – Дата доступа: 28.09.2020
9. Удачные решения//Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.starinfo-nic.ru/si/resh_vli/resh_udacha.html. – Дата доступа: 28.09.2020
10. Цурак С. М. Рекомендации по модернизации городских распределительных линий электропередач // Сборник научных трудов ДониЖТ [Электронный ресурс]. – 2012. №29. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-po-modernizatsii-gorodskih-raspredelitelnyh-linij-elektroperedach>. – Дата доступа: 29.09.2020
11. Четырехпроводной системе сип без предубеждений / Е. Лютик // Новости электротехники [Электронный ресурс]. – 2006. - № 3(39). – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 29.09.2020
12. Шевченко В.В.Перспективы внедрения и особенности проектирования ВЛЭП с изолированными проводами / В.В. Шевченко, С. М. Цурак, И. Я. Лизан // Сборник научных трудов Харьковский национальный университет Воздушных Сил. - Вып. 4(62), 2007, с. 127-134.

13. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011 (02230). – Введ. 01.12.11 – Минск : Минэнерго, 2011. – 593 с.

УДК621.311

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 0,4 КВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Современный этап развития электроэнергетической отрасли Беларуси характеризуется динамичным строительством новых и модернизацией имеющихся объектов сферы.

Обширную часть в рамках этой работы занимает модернизация электрических сетей. Так согласована инвестиционная программа по ремонту электрических сетей на 2021-2025 годы в Беларуси, в рамках которой планируется в два раза увеличить за это время объем средств, направляемых на модернизацию электрических сетей, что было отмечено министром энергетики на заседании Совета Республики в апреле этого года [1].

При модернизации и строительстве электрических сетей широкое распространение получили изолированные воздушные линии (ВЛИ) с применением самонесущего изолированного провода (СИП). Особенно это характерно для сетей до 1 кВ, которые согласно действующему ТКП [14] рекомендуется выполнять именно с применением СИП технологии. Однако на современном этапе развития данной технологии её применяют и в сетях значительно более высокого класса напряжения. Примером можно назвать реконструкцию воздушной линии 35 кВ Митьки-Рудня в РУП «Гомельэнерго»[2]. Реконструкция выполнена с использованием провода СИП-3.

В своё время появление и применение данного типа проводов (СИП) широко обсуждалась, оценивалась эффективность их применения, опыт применения в зарубежных странах[3], а также проводился сравнительный анализ с существующими линиями с использованием “голых” проводов. В работе [13] проводится анализ альтернативных исполнений распределительных сетей, в том числе и с использованием СИП. Рассчитана механическая часть СИП при их применении на имеющихся типах опор. В работах [9], [1] и [10] рассматривается опыт применения технологии СИП в различных условиях при различных способах реализации воздушных линий с изолированными проводами (ВЛИ). В работе [9] - Крымский опыт эксплуатации СИП, в [6] – Воронежский опыт применения. Работа [10] содержит описание успешных примеров применения технологии СИП в различных географических условиях.

Первое очевидное преимущество СИП – электробезопасность. Обслуживание ВЛЭП стало более безопасным, т.к. СИП-ы позволяют вести обслуживание линий под напряжением. В СИП-ах исключена возможность коротких замыканий между проводами и землей, что повышает пожаробезопасность линии, а также обеспечивает бесперебойность электроснабжения. Исходя из опыта эксплуатации модернизированных с

использованием СИП линий объём работ оперативно-выездной бригады сократился в разы [11], что говорит о надёжности данной технологии. В результате повышения надёжности происходит резкое снижение (более 80%) эксплуатационных затрат.

При обосновании применения СИП при проектировании линии помимо описанных выше свойств технологии СИП необходимо учесть, что существуют различные варианты исполнения СИП, которые в сетях до 1 кВ обычно отличаются наличием или отсутствием отдельно выделенного несущего элемента.

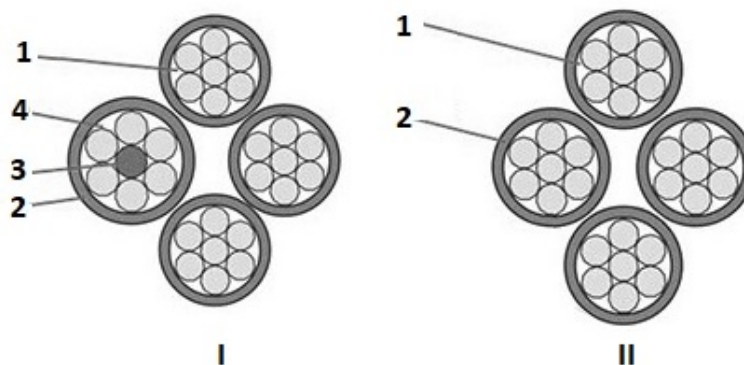


Рисунок 1 – варианты исполнения СИП

I – СИП с отдельно-выделенным несущим элементом, II – СИП без отдельно-выделенного несущего элемента, 1 – фазная токопроводящая жила, 2 – изоляция, 3 – стальной сердечник, 4а – нулевая жила, несущая, неизолированная, 4б – нулевая жила, несущая, изолированная

Первый вариант исполнения – четырехжильный провод, три из них предназначены для трех фаз и оснащены термопластичной изоляцией или изоляцией из сшитого полиэтилена, а четвертая для нулевого вывода, также изолированная. В нулевом проводнике центральная проволока выполнена из стали и является несущей.

Второй вариант исполнения – представляет собой парную систему, в которой каждая жила имеет свою пару, но, в отличие от предыдущих, у нее отсутствует отдельный несущий элемент, подвеска провода осуществляется за все 4 жилы. В качестве изоляции здесь также применяется термопластичный полиэтилен или сшитый полиэтилен.

На начальных этапах применения СИП и до сих пор в пособиях и рекомендациях по проектированию и применению СИП [5], [7] отмечается возможность применения второго варианта исполнения СИП в отходящих от магистрали воздушной линии ответвлениях, в то время как в самих магистралях рекомендуется применять первый вариант исполнения СИП. Согласно этим материалам второй вариант исполнения не удовлетворяет условиям применения по несущей способности. Также предполагается возможным механическое разрушение провода в результате несимметричности электрической нагрузки по фазам. Так как в анкерном зажиме для второго варианта СИП все четыре жилы принимают высокую механическую нагрузку, то та жила, которая греется больше, чем другие, будет вытягиваться. Поэтому нагрузка четырех проводов

распространится на три или на два провода, что приведет к разрушению нулевой или токопроводящей жилы.

В работах [12], [13] проводится сравнение свойств и описание возможности применения двух вариантов исполнения СИП проводов в магистралях воздушных линий. Так в результате расчётов проведенных в работе [10] отмечается, что даже при увеличении в 2 раза тока в одной из жил удлинение составляет не более 0,01 % от первоначальной длины провода в пределах одного анкерного пролета длиной 500 м, что является незначительным. Также по результатам работ делается вывод, что механическая прочность на разрыву провода, у которого все жилы несущие выше, чем у аналогичного провода с несущей нулевой жилой. Данные проведенного в работах анализа позволяют сделать вывод о возможности применения СИП без отдельного несущего элемента в магистрали воздушной линии.

Однако данные выводы справедливы в рамках технической возможности применения. Отдельного изучения требует вопрос об экономической целесообразности применения данного типа провода.

Сам по себе провод без отдельно выделенного элемента стоит дешевле в связи с тем, что имеет меньшую материалоемкость. Несущий элемент имеет дополнительный стальной сердечник в несущей жиле или несущую жилу выполненную из более прочного по сравнению с материалом фазной жилы алюминиевого сплава. Всё это в сочетании с тем фактором, что несущая жила в любом варианте исполнения имеет большее сечение нежели фазная и приводит к увеличению материалоемкости.

Однако следует отметить, что СИП у которого всежилы являются несущими предусматривает большие затраты на элементы арматуры и на монтаж вследствие усложненной конструкции арматуры, специализированный под данный тип провода [11].

В работах, в рамках которых бы происходило сравнение капитальных затрат на строительство линии с применением разных типов СИП [8] учитывается разница в стоимости провода, однако не учитывается различная стоимость арматуры, также приведенные там данные нуждаются в актуализации. Это обуславливает необходимость проведения сравнительного анализа капитальных вложений при строительстве воздушной линии с применением двух различных вариантов исполнения СИП.

Для сравнения был принят участок линии длиной два километра, имеющий 58 промежуточных опор и 6 опор сложной конструкции. При проведении сравнения использовалась продукция российских производителей, следовательно все расчёты проводились в российских рублях. В качестве представителей двух вариантов исполнения СИП, описанных выше были приняты следующие провода:

- СИП-2 3x70+1x95 – в качестве представителя первого варианта исполнения
- СИП-4 4x70 – в качестве представителя второго варианта исполнения

Данные провода производства ООО «ЭлектроКомплект-Сервис» ввиду распространённости на рынке и наличия в открытом доступе цен на продукцию.

Таблица 1 – Капитальные затраты на арматуру для линии с СИП-2

Наименование	Количество (сложные опоры)	Количество (промежуточные опоры)	Суммарное количество	Цена, руб	Сумма, руб
Зажим анкерный (РА1500)	8	-	8	614,52	4916,16
Комплект промежуточной подвески (ES 1500 С)	-	58	58	579,34	33599,40
Кронштейн анкерный (CS 1500)	8	-	-	350,48	2803,84
Общая сумма:					41319,40

Таблица 2 – Капитальные затраты на арматуру для линии с СИП-4

Наименование	Количество (сложные опоры)	Количество (промежуточные опоры)	Суммарное количество	Цена, руб	Сумма, руб
Анкерный зажим (RPA 450/120.S)	8	-	8	1330,11	10640,88
Поддерживающий зажим (PSP 25/120.M)	-	58	58	603,87	35024,46
Крюк универсальный (CS 16)	-	58	58	259,31	15039,98
Кронштейн анкерный (CS 1500)	8	-	-	350,48	2803,84
Общая сумма					63509,16

Линейная арматура была выбрана согласно каталогу ООО "НИЛЕД-ТД" [4], цены на элементы которой можно найти в свободном доступе. Результаты расчёта капитальных затрат на линейную арматуру для линии, выполняемой проводом СИП-2 и СИП-4 представлены в таблице 1 и 2 соответственно.

Итоговые данные сравнения сведены в таблицу 3, данные пунктов , 4-6 рассчитаны с учётом повышающего коэффициента ($k_{\text{пов}} = 2,8$) используя данные из работы [8].

Таблица 3 – Сравнение вариантов

Затраты, руб	СИП-2 3x70+1x95	СИП-4 4x70
Провод (2 км)	528140,0	486380,0
Линейная арматура	41319,4	63509,2
Опоры	322650,0	322650,0
Подготовка трассы	13340,0	13340,0
Строительно-монтажные работы	266800,0	266800,0
Прочие затраты	106720,0	106720,0
Всего	1278969,4	1259399,2

Как видно из расчётов в линии, на которой применяется СИП-4 стоимость арматуры выше, однако значительно ниже стоимость провода. В итоге линия с применением СИП-4 оказалась дешевле на 19507,2 руб. (1,5%), что кажется незначительным. Однако следует учесть, что данные расчёты проводились для линии длиной 2 километра. При расчёте на 100 км экономия будет составлять уже 978510 руб.

Исходя из результатов расчёта можно сделать вывод, что помимо технических преимуществ использования СИП-4 и подобных, описанных в приводившихся выше работах, выполнение линии с использованием данного типа провода является еще и более экономичным. Таким образом выбор варианта исполнения СИП, у которого все четыре жилы являются несущими является оптимальным.

Литература

1. В Беларуси намерены удвоить вложения в модернизацию сетей для перевода домов на электроотопление// Сайт Белорусского телеграфного агентства [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-namereny-udvoit-vlozhenija-v-modernizatsiju-setej-dlja-perevoda-domov-na-elektrootoplenie-388245-2020/>. – Дата доступа: 04.10.2020
2. В филиале «Мозырские электрические сети» РУП «Гомельэнерго» выполнена реконструкция ВЛ-35 кВ Митьки-Рудня// Сайт Гомельского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики «Гомельэнерго» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://www.gomelenergo.by/index.php?option=com_k2&view=item&id=372:v-f-le-mozyrskie-elektricheskie-seti-rup-gomelenergo-vypolnena-rekonstruktsiya-vl-35-kv-mitki-rudnya&Itemid=102&lang=ru. – Дата доступа: 05.10.2020
3. Гафуров А.М. Основные особенности при выборе экономически выгодных сечений проводов / А.М. Гафуров, Р.М. Калимуллина, Л.И. Гимадеева // Инновационная наука. – 2016. – № 1-2 (13). – С. 31-33.
4. Линейная арматура для самонесущих изолированных проводов на воздушных линиях 0,4 и 6-20 кВ// ООО "НИЛЕД-ТД" – Подольск: 2011 г. — 89 с.
5. Логинова, С.Е. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 1. Система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1 кВ без отдельного несущего элемента/ С. Е. Логинова, А.В. Логинов Ред. 5, доп. С-Пб: ENSTO - ОАО «НТЦ Электроэнергетики» (РОСЭП), 2017 г. — 331 с.
6. Опыт применения технологии СИП в г.Воронеже / ЗАО «Воронежпроект»// Сайт компании "Сикам Украина"[Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа:<http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 28.09.2020
7. Рекомендации по применению самонесущих изолированных проводов и линейной арматуры на воздушных линиях 0,4 кВ// ООО "НИЛЕД-ТД" – Подольск: 2009 г. — 93 с.
8. Скородумов О.П, Самонесущие изолированные провода. Новое пособие для проектировщиков //Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 4 (34). - С. 56-57.
9. Следы СИП на западном побережье Крыма есть!/Староверов В.Ю. // Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.starinfo-nic.ru/si/analytic/an_21.html. – Дата доступа: 28.09.2020
10. Удачные решения//Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.starinfo-nic.ru/si/resh_vli/resh_udacha.html. – Дата доступа: 28.09.2020

11. Цурак С. М. Рекомендации по модернизации городских распределительных линий электропередач // Сборник научных трудов ДонИЖТ [Электронный ресурс]. – 2012. №29. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-po-modernizatsii-gorodskih-raspre-delitelnyh-linij-elektroperedach>. – Дата доступа: 29.09.2020
12. Четырехпроводной системе сип без предубеждений / Е. Лютик // Новости электротехники [Электронный ресурс]. – 2006. - № 3(39). – Режим доступа.: <http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 29.09.2020
13. Шевченко В.В. Перспективы внедрения и особенности проектирования ВЛЭП с изолированными проводами / В.В. Шевченко, С. М. Цурак, И. Я. Лизан // Сборник научных трудов Харьковский национальный университет Воздушных Сил. - Вып. 4(62), 2007, с. 127-134.
14. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы прямо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011 (02230). – Введ. 01.12.11 – Минск : Минэнерго, 2011. – 593 с.

УДК 621.311

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

Введение в работу БелАЭС - самое значительное обновление в энергосистеме в истории суверенной Беларуси. Окончание строительства по последним данным запланировано на 2022, все работы находятся на завершающей стадии. Введение в работу атомной электростанции приведёт к единовременному значительному приросту генерируемой мощности, что вызовет значимый профицит вырабатываемой белорусской энергосистемой электроэнергии. Решение данного вопроса началось ещё несколько лет назад и продолжается до сих пор. Так в постановлении Совета Министров № 582 от 6 октября 2020 года говорится о мерах, реализуемых вплоть до 2025, связанных с увеличением потребляемой мощности энергосистемой, на эти цели будет задействовано 1199 МВт вводимых мощностей БелАЭС [3]. В рамках этого постановления, а также других мер, применяемых для увеличения потребления электроэнергии рассматриваются промышленные потребители.

Однако принимая во внимание работы [4] и [2] можно рассматривать направление дополнительной электрификации сельского хозяйства как способа рационального и эффективного увеличения потребляемой электроэнергии. Помимо этого, возможно осуществить выравнивание суточного графика нагрузки, путём автоматизации с/х оборудования. Выравнивание графика нагрузки также важный аспект эффективного введения атомной станции в состав энергосистемы, ввиду её работы в базисе суточного графика нагрузки.

По данным института экономики и прогнозирования научно-технического прогресса Российской АН в современном мире характерны две общие тенденции развития электрификации: возрастающее воздействие электрификации на экономический рост и повышение влияния электроэнергии на формирование структуры энергетического баланса. Обе эти закономерности отражаются в увеличении выработки электроэнергии на душу населения и непрерывном росте коэффициента электрификации, характеризующего отношение объема потребляемой электроэнергии к общему объему потребления всей подведенной энергии. Широкое распространение получил сельскохозяйственный сектор электрификации. Однако следует отметить, что в странах с рыночной экономикой на мелких фермерских хозяйствах имеет место сдерживание электрификации. Это связано с тем, что мелкий фермер, в первую очередь, стремится использовать для возможно большего числа процессов, особенно для наиболее энергоёмких (раздачи кормов, уборки навоза с животноводческих помещений и т.п.), имеющееся у него тяговое оборудование, работающее на горючих видах топлива. Согласно последним статистическим данным доля потребления электроэнергии промышленным сектором имеет небольшую отрицательную динамику, в то время как в домашних и сельских хозяйствах наблюдается ежегодный прирост к потреблению электроэнергии [1]. В решении социально-бытовых проблем электроэнергии села нет альтернативы

электрификации. Так, годовой расход электроэнергии для бытовых целей, приходящейся на одного сельского жителя в США, равен 2840 кВт·ч, а в странах СНГ - 480 кВт·ч. В Германии в основном все сельские дома переведены на автоматическое индивидуальное электроотопление. Развитие электрификации должно идти по пути разработки и производства новых видов энергосберегающего электротехнического и электротеплового оборудования, создания на их основе высокоэффективных электротехнологий в животноводстве, земледелии, кормопроизводстве, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции.

Важным фактором, определяющим перспективу развития электрификации на селе, является повышение требований к охране окружающей человека среде. Это стимулирует замещение электроэнергией, как наиболее чистым энергоносителем, других энергоносителей, прежде всего непосредственно сжигаемого органического топлива. Кроме того, возможное уменьшение стоимости электроэнергии по отношению к стоимости альтернативных энергоносителей может сделать эффективным ряд высоко-электроемких электротехнологий, для осуществления которых ранее пользовались другими видами энергетических ресурсов. Эффективность дальнейшего развития электрификации сельскохозяйственного производства республики подтверждают следующие условия современного экономического состояния Беларуси: постепенное ухудшение сырьевого и материального обеспечения производства; отсутствие собственных и возрастание стоимости закупаемых топливно-энергетических ресурсов; развитие многоукладного хозяйствования и разных форм собственности на средства производства, экономической самостоятельности владельцев собственности.

Электротехнология - динамично развивающееся и перспективное направление электрификации сельского хозяйства. Применение электрофизических и электрохимических методов позволяет:

- реализовать наиболее энергоресурсосберегающие технологии, основанные на селективном (избирательном) уровне воздействия на атомномолекулярные и клеточные структуры обрабатываемой среды;
- выполнять процессы и операции, которые невозможно выполнить другими способами;
- существенно повысить культуру производства, качество продукции, интенсивность процессов по сравнению с традиционными приемами и технологиями;
- заменить распространенные химические препараты экологически чистыми приемами воздействия на биологические объекты сельскохозяйственного производства.

В настоящее время разработано множество различных электротехнологических процессов, в том числе, управление поведением животных, электрофильтрация, ионизация и озонирование воздуха в животноводческих помещениях (электроионизаторы), магнитная очистка кормов и семян, электродиализ и магнитная обработка воды, борьба с насекомыми, электросепарация зерна и семян, ультразвуковая,

электрогидравлическая обработка, электролиз и обеззараживание сельскохозяйственных материалов, предпосевная обработка семенного материала (около 50 способов), электроаэрозольная технология, электроимпульсная обработка растительного сырья, электротехнологическая обработка кормов, точное животноводство и растениеводство [4], [2] и др.

Таким образом можно сделать вывод о актуальности обширной электрификации сельскохозяйственного сектора в условиях введения в работу БелАЭС. Что позволяет с одной стороны достигнуть высоких показателей в различных отраслях сельского хозяйства путём внедрения нового электроёмкого оборудования и создание на его базе более сложных технологических процессов, а с другой стороны решает вопрос эффективного увеличения уровня потребляемой электроэнергии и выравнивания суточного графика нагрузки.

Литература

1. Конечное потребление электроэнергии/Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 22.10.2020.
2. Никола М. Т., Самуэль В. Цифровые технологии на службе сельского хозяйства и сельских районов: справочный документ. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2019. – 18 с.
3. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 6 окт. 2020 г., № 582:– Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000582&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 22.10.2020
4. Труфляк Е. В. Мониторинг и прогнозирование в области цифрового сельского хозяйства по итогам 2018 г. / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, А. С. Креймер.–Краснодар : КубГАУ, 2019. – 100 с.

УДК 621.3

ВИДЫ ЖЁСТКИХ ШИН. СТАНДАРТЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ШИН И ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Гапанюк С. Г.

Общие сведения. Варианты классификации. Шина – это металлические проводники, из цветных металлов и их сплавов, редко стали, обладающие высокой проводимостью. Шины применяются для подключения оборудования, присоединения элементов и отпаек, подвода электроэнергии, как составная часть троллейных систем в установках широкого диапазона номинальных напряжений. Применение шин позволяет сэкономить пространство, материал, снизить трудозатраты на монтаж и эксплуатацию. Кроме того, шины повышают надёжность установки, так как возможен визуальный контроль их состояния, лёгкий доступ для их ремонта и обслуживания.

В самом общем случае шины делят на сборные и силовые. Сборные шины — это шины, к которым подключаются распределительные блоки, силовые шины, ответвления на элементы подстанций (отводы к трансформаторам, выключателям и т. п.).

Иногда встречается деление шин по номинальному напряжению, так шины номинальным напряжением до 1 кВ называют шинопроводами, а от 1 кВ токопроводами. Это деление связано с тем, что с повышением номинального напряжения ужесточаются требования к изоляции, охлаждению, безопасности и надёжности шин, что ведёт к изменению конструкции, размеров, совершенствованию изоляции и т. п.

Шины классифицируют по виду изоляции: шины с воздушной изоляцией, где воздушная прослойка изолирует фазы друг от друга и от земли, от замыкания на землю шину дополнительно защищают изоляторы, через которые шины крепятся к стенам зданий, стенкам шкафов и т. п. Неизолированные шины дают лучшее охлаждение, в сравнении с другими видами шин, однако занимают больше места из-за необходимости широкого воздушного зазора. Изолированные шины представляют собой одну или несколько пластин, или проводников другого сечения, покрытых оболочкой из ПВХ или другого диэлектрика. Либо проводника, укрепленного на распорках внутри полимерной трубы, пустое пространство может быть заполнено твёрдым диэлектриком, воздухом, другим газом, или жидкостью с диэлектрическими свойствами (последние положительно влияют на охлаждение шин). Такие шины дороже неизолированных, сложнее в монтаже и ремонте, однако лучше защищены от внешнего агрессивного воздействия, занимают меньше места, более надёжны и безопасны, т.к. практически полностью исключают вариант межфазного к. з. или к. з. на землю, даже при срыве их с креплений при сильной динамической нагрузке, вызванной аварийным режимом.

Шины можно классифицировать и по материалу изготовления (алюминий, медь, сталь, их сплавы), форме сечения (плоского, коробчатого, круглого).

ГОСТы и ТУ. Производство шин регламентировано рядом технических нормативных актов. Перечислим наиболее важные и часто применяемые из них, рассмотрим их особенности, параметры, которые они регламентируют.

ГОСТ 15176-89 Шины пресованные электрического назначения из алюминия и алюминиевых сплавов. Данный стандарт описывает геометрические размеры, особенности формы плоских алюминиевых шин, указывает теоретическую массу 1 м шин (эти параметры используются для экономических и механических расчётов шин). Данным ГОСТом регламентируется длина шин, которая зависит от площади поперечного сечения:

- от 3 до 6 м - при площади поперечного сечения не более 0,8 см²;
- от 3 до 8 м - при площади поперечного сечения св. 0,8 до 1,5 см²;
- от 3 до 10 м - при площади поперечного сечения свыше 1,5 см².

Допускается изготовление шин мерной или кратной мерной длинами, указанными в списке, приведённом выше. А шины толщиной до 12 мм. Могут изготавливаться бухтами, наружным диаметром не более 1200 мм. ГОСТ описывает варианты термообработки шин (закалка, различные виды старения). Указывает марки алюминия и его сплавов, из которых допустимо изготавливать шины: алюминий марок А5, А5Е, А6, А7, АД00, АД0 и сплавы марок АД31Е, АД31. Приведены предельные значения сопротивления постоянному току для шин сечением 1 мм², длиной 1 м. при температуре 20°С. Указаны правила маркировки.

- ГОСТ 434-78 Проволока прямоугольного сечения и шины медные для электрических целей. Технические условия. Данный ГОСТ, как и предыдущий, характеризует форму, геометрические размеры, массу 1 метра шины, длину, размеры бухт, марки меди допустимые для изготовления шин, допустимые дефекты поверхности, правила приёмки и методы испытаний, но уже медных шин.
- ГОСТ 8617-81 Профили пресованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. Данный ГОСТ регламентирует, геометрические параметры, форму стандартных профилей из алюминия, которые могут быть использованы в качестве шин.
- ТУ 1-5-009-80 Шины электрические из алюминиевых сплавов.
- ТУ 16.705.002-77 Шины алюминиевые прямоугольные.
- ГОСТ 10434-82 Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. Данный ГОСТ классифицирует виды контактных соединений по назначению, климатическому исполнению. Указаны технические требования к соединениям, вид соединения в зависимости от назначения, требования к электрическим параметрам, механической прочности, надёжности и безопасности. Требования к арматуре болтовых соединений, сварке.

Шинные изоляторы. Для изоляции шин и крепления их к поверхностям используют изоляторы разных типов, конструкционного исполнения и назначения. По назначению выделяют проходные, тупиковые и опорные изоляторы. Опорные изоляторы используют для крепления шин к стенам

распределительных шкафов, стенам зданий и кронштейнам. Опорные изоляторы изготавливаются в форме сплошного «бочонка» и ребристого цилиндра, с резьбовыми отверстиями на торцах под метрические болты и шпильки. Проходные изоляторы служат для изоляции корпусов электрооборудования, стен шкафов и зданий от токопроводящих частей. В общем случае представляют собой токоведущую жилу или пластину, покрытую изолятором. Тупиковые изоляторы – частный случай проходного изолятора, служит для жёсткого закрепления свободного конца шины в элементах корпуса электроустановок и строительных конструкциях.

По материалу изготовления изоляторы бывают стеклянные, фарфоровые и полимерные. Изоляторы по своим характеристикам подчинены различным стандартам, регламентирующим их изоляционные и механические свойства, наиболее полно их отражает ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ.

Вывод. Таким образом, при выборе варианта ошиновки какой-либо установки необходимо помнить, что все сатовные части шинпровода изготавливаются согласно ГОСТам, соответственно параметры, полученные при расчёте необходимо соотнести со стандартными. Учитывая эту особенность выбор варианта ошиновки можно свести к следующему алгоритму: выбор подходящего по экономической плотности тока сечения проводника, расчёт его по условиям нагрева, механической прочности, подбор стандартных изоляторов, исходя из рассчитанных усилий. Применение стандартных крепёжных и токопроводящих элементов позволяет экономить на их стоимости, однако усложняет расчёт, т. к. приходится решать задачу о экономической целесообразности того или иного варианта, ведь используя стандартные элементы для одного условия можно подобрать несколько вариантов ошиновки. Эти варианты будут отличаться количеством элементов, материалоёмкостью, себестоимостью отдельных компонентов. Таким образом возникает необходимость внедрения некоторых коэффициентов или критериев, для оценки экономической эффективности того или иного варианта ошиновки.

Литература

1. ГОСТ 15176-89 Шины прессованные электрического назначения из алюминия и алюминиевых сплавов.
2. ГОСТ 434-78 Проволока прямоугольного сечения и шины медные для электрических целей. Технические условия.
3. ГОСТ 8617-81 Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
4. ГОСТ 10434-82 Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.
5. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 640 с.; ил.
6. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций: [учебник для энергетических и энергостроительных техникумов]/ Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – 2-е изд., перераб.- Москва: энергия, 1980.

УДК 621.3

СОЗДАНИЕ ОКОННОГО ИНТЕРФЕЙСА В PASCALABC

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Гапанюк С. Г.

Введение. Язык программирования Pascal получил широкое распространение в странах бывшего СССР. Его изучением занимаются в школе, часто даже на первых курсах высших учебных заведений. Как же получилось так, что язык, разработанный в 1970 году не теряет своей актуальности в начале 20-х годов XXI века?

Безусловно, сыграло огромную роль то что, язык имеет простой, интуитивно понятный синтаксис, строгую типизацию переменных, в нём присутствуют средства процедурного программирования, компилятор с комментариями ошибок и т.п. По своей структуре и сути Pascal схож с многими языками высокого уровня, базируется на той же логике, но является более простым и понятным начинающему программисту. Важной составляющей успеха данного языка является его практически полная русификация, наличие русскоязычного справочника, сборника примеров и задачника, что позволяет овладеть материалом без знания иностранных языков. Для языка Pascal написано большое количество учебных пособий, вспомогательной литературы, методических материалов на русском языке, сделано большое количество переводов зарубежной литературы. К тому же, профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений, обязательно сталкивались с данным языком в процессе своей ранней научной деятельности, т. к. на то время этот язык был прорывным и перспективным. И им оказалось проще поднять старые наработки, чем создать курс лекций и учебно-методический материал к лабораторным работам для более современного языка.

Однако, это широкое применение Pascal для обучения непрофильных специальностей, казалось подарившее ему вторую жизнь, сыграло с ним злую шутку: глубоко проработанными являются лишь самые простые, базовые пункты данного языка программирования. Более сложные вещи, такие как классы, ООП и т. п., хотя и реализованы в последних версиях программы, однако широко не освещены в специализированной литературе, форумах и сборниках примеров. Непрофильные специальности не занимаются изучением данных разделов, а профессиональные программисты предпочитают обретать знания по этим разделам в более совершенных языках программирования.

Данная работа имеет цель познакомит её читателя с возможностью создания оконных приложений на языке Pascal. Этот раздел широко не освещался, т. к. связан с глобальными понятиями информатики, которые не входят в спектр интересов непрофильных специалистов, но может быть им полезен.

FormsABC. Создание графического приложения на языке PascalABC, связано с подключаемым модулем FormsABC. Он предназначен для создания форм без специализированного дизайнера, с помощью потокового менеджера размещения. Дизайнер форм доступен, если при создании нового проекта выбрать тип «ПриложениеWindowsForms» (см. рис. 1). Дизайнер предоставляет

широкий выбор инструментов для работы с элементами интерфейса, позволяет просто, быстро, наглядно, интуитивно понятно изменять параметры формы, добавлять и убирать элементы, менять их параметры. Разработчик выбирает элементы из списка, применяет инструменты из палитры, а дизайнер автоматически формирует соответствующий «технический код», который будет отвечать за работу элементов в процессе работы программы. По завершению работы с визуальной составляющей разработчик добавляет в автоматически созданный код процедуры, которые будут обрабатывать действия пользователей, выводить результаты.

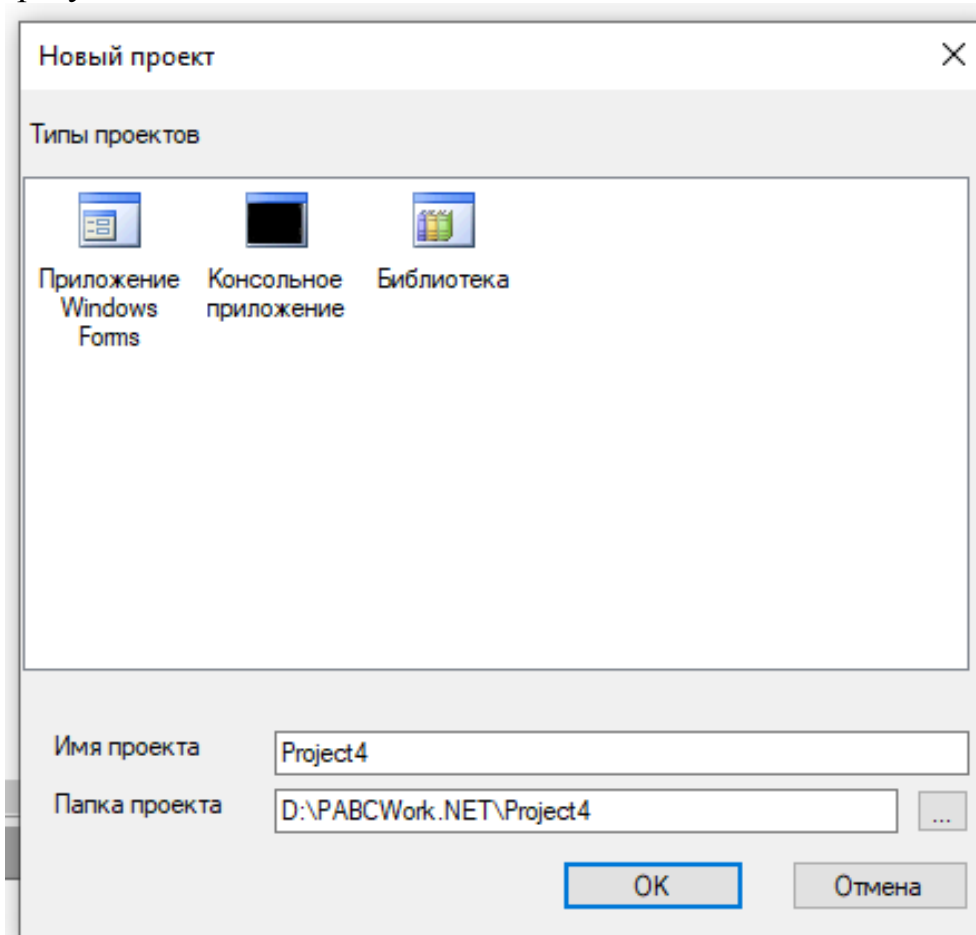


Рисунок 1 – Окно выбора, при создании нового проекта

Более подробно разберём реализацию модуля FormsABC в режиме создания консольного приложения. Т. к. большинство учебных программ связано с работой в этом режиме, изучив базовые понятия на этом, более понятном примере, далее будет проще работать в Дизайнере форм. Для начала разберём основные классы виджетов, которые можно добавлять на форму, т. е. окно приложения.

Виджеты. FormsABC. Говоря простыми словами, виджеты это те иконки, кнопки, галочки, значки, которые можно помещать на форму. Пользователь, при работе с программой будет взаимодействовать именно с ним: вписывать данные в ячейки, устанавливать галочки, выбирать пункты выплывающего меню, программа, в свою очередь, считывает эти данные в память, произведёт с ними какие-либо действия и может вывести результат, например, в ту же форму.

Любой виджет должен быть описан в блоке описаний `var`, описание состоит из имени виджета и описания типа (типы описаны ниже). Для возможности вывода виджета на экран и работы с ним необходимо проинициализировать его в основном теле программы. Для этого используется функция `new`, в параметре которой указан класс виджета. Каждому виджету свойственен определённый набор событий, т. е. действий, которые пользователь может совершать над ними (кликать по ним, выбирать пункт выпадающего списка и т.п.), эти функции задаются в теле программы и о них будет сказано ниже. Пример инициализации окна для ввода/вывода текста:

```
tb: TextBox; // в разделе var
tb := new TextBox; // в теле программы
```

Основные классы виджетов:

`Button` – кнопка, она имеет прямоугольную форму, внутри которой помещено её название. Объявление и вызов происходят с помощью ключевого слова `Button`.
Пример:

```
name: Button; // vvar
name := new Button('name'); // в begin-end
name.Click += MyClick_1;
```

В скобках указывают название кнопки или функции, за которую она отвечает. Единственным событием, которое может произойти с кнопкой является нажатие на неё, оно обозначается словом `Click`, т. е. этот оператор содержит ссылку на действие, процедуру которая будет исполняться при нажатии на кнопку. Если рассмотреть пример, то там при нажатии на кнопку `name` будет выполняться процедура `MyClick_1`. Привязка процедуры к нажатию описано в примере и обозначается значком «+=».

`CheckBox` – флажок, маркер, служит для возможности выбора, подтверждения параметра, указанного в описании флажка. Создание и вывод на экран осуществляется командами, приведёнными ниже:

```
name := CheckBox; // vvar
name := new CheckBox('Variant'); // в begin-end
```

В скобках, вместо слова `variant` указывают название параметра, за который отвечает флажок. Обращение к основной функции флажка – значению (нажат/не нажат) происходит через процедуру `Checked`, с указанием имени виджета, она возвращает логическое `true`, если флажок нажат и `false`, если флажок не нажат.
Пример использования виджета:

```
if(name.Checked=true) then c:=a+b else a-b;
```

`IntegerField` – однострочное поле для ввода целых чисел. Оно представляет собой прямоугольник, внутрь которого пользователь может вписать целое число. Задание поля происходит с помощью команд, приведённых ниже:

```
name: Integerfield; // vvar
name := new Integerfield('param', x); // в begin-end
```

Где `name` – имя поля, `x` – длина поля, а вместо `param` указывают заголовок. У данного виджета существует ряд свойств: `FieldWidth` – позволяет изменить ширину поля, `text` – позволяет изменить заголовок поля, `value` – позволяет обратиться к значению поля (с помощью данной процедуры можно передать

значение поля в переменную). Обращение к свойствам происходит при указании имени виджета и, через точку, названия свойства. Примеры применения свойств:

```
name.text:='значение'; // полю name присвоен заголовок «значение».
```

```
name.FieldWidth:=10; // полю name присвоена ширина 10 пикселей.
```

```
a:=name.Value; // в переменную a передано значение, введённое в поле name.
```

- **RealField** – однострочное поле, в которое пользователь может вписать вещественное число. Работа с данным типом виджетов аналогична предыдущему, только при задании вместо **IntegerField** указывают тип **RealField**.

- **Field** – однострочное поле для ввода строковых значений. Работа с ним аналогично предыдущим виджетам типа поле, однако вместо **IntegerField** или **RealField** указывают тип **Field**. Кроме того, свойство **text** позволяет обратиться к введённой в поле информации (считать значение в переменную соответствующего типа), а свойство **Value** для данного типа поля не применяется.

- **TextBox** – многострочное поле для ввода строковых переменных. Создание поля происходит при помощи команд:

```
name: TextBox;
```

```
name:= new TextBox;
```

У данного виджета существует ряд свойств: **Width** – отвечает за ширину поля, **text** – отвечает за заголовок поля, **Height** – отвечает за высоту поля, **Text** – позволяет обратиться к значению поля (с помощью данной процедуры можно передать значение, введённое в поле в переменную, либо наоборот, передать в поле некоторые значения переменных, текст, используя его для вывода информации). Обращение к свойствам, их изменение происходит при указании имени виджета и, через точку, названия свойства (пример см. выше). Кроме того, для данного класса существует ряд функций: **name.Undo** – отменяет последнее изменение, **name.Redo** – отменяет отмену последнего изменения, **name.Cut** – вырезает выделенное, **name.Copy** – копирует выделенное, **name.Paste** – вставляет значение из буфера обмена в местоположение курсора, **name.AddLine('t')** – добавляет текст в новой строке:

```
name.AddLine('text '+ b); // вывод в поле текста и переменной
```

Общим свойством всех типов полей и виджета **TextBox**, является то, что их можно использовать для вывода информации, полученной при работе программы, для этого свойству **value** или **text** присваивают соответствующие значение переменной или константы и выводят его в определённое место на экране.

- **textLabel** – метка, она позволяет выводит текст на форму окна, без использования полей. Создание метки происходит при помощи следующих команд:

```
name:TextLabel; // vvar
```

```
name:= new TextLabel ('text'); // в begin-end
```

В скобках указывают переменные или константы, которые необходимо вывести.

- **ComboBox** – список, т. е. поле, при нажатии на которое выпадает список

вариантов, которыми это поле может быть заполнено. Создание виджета происходит следующими командами:

```
tupes:ComboBox;// vvar  
modificCor:= new ComboBox ();// в begin-end
```

У списка существует ряд свойств: width – отвечает за ширину, count – отвечает за количество элементов. Обращение к свойствам, их изменение происходит при указании имени виджета и, через точку, названия свойства (пример см. выше). Для данного виджета существуют функции: name.Items.Add ('variant ') – добавляет в список name элемент со значением variant, name.Items.Clear – удаляет все элементы списка. Пример использования функций добавления элемента:

```
name.Items.Add ('variant1');
```

```
name.Items.Add ('variant2 ');//в выпадающем списке name появляются  
пункты variant1, variant2.
```

Создание окна и компоновка элементов на нём. Первое, что необходимо сделать при создании оконного приложения – подключить модуль FormsABC, это делается так: в начале программы пишем:usesFormsABC. Это действие подключает модуль для работы с формами, библиотеки команд и функций, создаёт главную форму, т. е. окно, которое называется MainForm. Главная форма является основной, т. к. запускается первой, на неё помещаются все элементы, поля, кнопки и т. п. Работать будем именно с этой формой. При открытии программы пользователь выполняет требования программы, заполняет форму и запускает работу вычислительного блока программы, который обрабатывает введённую информацию и выводит результат.

После того как создана главная форма, можно изменять её название, делается это командой MainForm.Title := 'название'. Команда MainForm.SetSize(x,y) позволяет изменить размер формы, а команда MainForm.CenterOnScreen помещает форму в центр экрана.

Далее по схеме, описанной выше, на форму добавляют виджеты. При их добавлении важно помнить, что вставка первого виджета начинается в левый верхний угол, для переноса точки вставки существуют команды FlowBreak (y) и Space(x), которые делают отступ, соответственно на y пикселей по вертикали или на x пикселей по горизонтали. Виджеты добавляются последовательно, сверху вниз, слева направо, регулируя расстояние между ними, а их размер регулируется вышеуказанными командами.

Для запуска работы расчётной части программы, вводят отдельную кнопку, либо привязывают начало выполнения расчёта к заполнению последнего поля, делают это с помощью события click, этому событию, при помощи символов «+=», присваивают соответствующую процедуру, которая и будет выполнять основные действия после заполнения формы. В этой процедуре происходит считывания значения полей в память, заполнения значений переменных, в эту процедуру подгружают подпрограммы, которые выполняют основной расчёт и выведут результат.

Пример простого калькулятора, где ввод/вывод данных осуществляются с использованием формы:

```
uses FormsABC; //объявляем модуль FormsABC
var
//задаём рабочие переменные и виджеты
a1,b1: real;
f1:FlowBreak;
f2:Space;
dec:Checkbox;
inc:Checkbox;
mul:Checkbox;
divid:Checkbox;
a:Realfield;
b:Realfield;
run:Button;
leb:TextLabel;
tb:TextBox;
procedureMyClick; //обработчикклика
var
res: real;// переменная, где хранится ответ
begin
// присваиваем переменным значения, введённые в поля,
a1:=a.Value;
  b1:=b.Value;
ifdec.Checked=truethen
begin
res:= a1-b1;
tb.AddLine("+ res);
end else;
ifinc.Checked=true then
begin
res:= a.Value+b.Value;
tb.AddLine("+ res);
end else;
ifmul.Checked=true then
begin
res:= a.Value*b.Value;
tb.AddLine("+ res);
end else;
ifdivid.Checked=true then
begin
res:= a.Value/b.Value;
tb.AddLine("+ res);
end else;
end;
begin
MainForm.Title := 'Простой калбкулятор'; // задаём название формы
```

```
MainForm.SetSize(600,400); //задаём размер формы
MainForm.CenterOnScreen; // центрируем форму
//выводим заголовок с описанием заполнения
leb := newTextLabel ('Введите два числа и поставьте маркер, напротив
требуемого действия ');
f1 := newFlowBreak (30); //отступ по вертикали
a := newRealfield ('Число a'); // вывод числа a
f2 := newSpace(25); // отступ по горизонтали
dec := new CheckBox ('-');
f2 := new Space(25);
b := new Realfield ('Число b'); // вывод числа b
f2 := new Space(25);
leb := new TextLabel (' = ');
f2 := new Space(25);
tb := new TextBox; // выводокнарезультатом
tb.Width:= 80;
tb.Height:=20;
// выводвыборадействий
f1 := new FlowBreak ();
f2 := new Space(135);
inc := new CheckBox ('+');
f1 := new FlowBreak ();
f2 := new Space(135);
mul := new CheckBox ('*');
f1 := new FlowBreak ();
f2 := new Space(135);
divid := new CheckBox ('/');
f1 := new FlowBreak (10);
f2 := new Space(90);
run := new Button ('Рассчитать');
run.Click += MyClick;
end.
```

Вывод. Таким образом, PaskalABC позволяет создавать простые оконные приложения. Тут, в отличие от других языков, этот процесс является понятным, может быть реализован на базе элементарных знаний о структуре программы, тем не менее результат получится приемлимым по качеству, а при определённых условиях не будет уступать и профессионально созданным интерфейсам.

Литература

1. В. Г. Абрамов, Н. П. Трифонов, Г. Н. Трифонова, Введение в язык паскаль, главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука, 1988г.
2. А. И. Гусева, Учимся программировать: Pascal 7.0, 2-е издание, Диалог-МИФИ, 1998г.

УДК 621.3

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Люкевич В. В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н. С.

Транспортировка электроэнергии от электрической станции к потребителям — одна из важных проблем энергетики. Электроэнергия передается чаще всего по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП) переменного тока. С целью защиты ЛЭП от разрушительного влияния погодных условий, над проводами линий подвешивают специальные грозозащитные тросы.

Эти тросы являются своего рода протяженными молниеотводами, число которых зависит от некоторых условий: от класса напряжения линии, от сопротивления грунта, который окружает опору, от места дислокации опоры и от количества подвешенных на ней проводов. Исходя от расстояния между тросом и самым близким защищаемым проводом, вычисляют и соответствующую высоту подвеса троса на опоре.

В качестве грозозащитных тросов используются стальные канаты либо сталеалюминиевые провода со стальным сердечником с увеличенным сечением. Наиболее часто встречается грозозащитный трос, изготовленный из стальных оцинкованных проволочек, поперечное сечение которого составляет от 50 до 70 мм. Он обычно устанавливается на линиях с напряжением 110 кВ и выше, сооруженных на металлических и железобетонных опорах. На линиях 110—220 кВ с опорами, изготовленными из древесины, и линиях 35 кВ трос подвешивается обычно только на подходах к подстанциям. Крепление троса к металлическим и железобетонным промежуточным опорам ВЛ 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 воздушных линий 35—110 кВ трос крепится через изолятор, при этом он присоединяется к устройству заземления наглухо или через искровой промежуток. На линиях сверхвысокого напряжения в некоторых случаях применяют расщепленные грозозащитные тросы, которые состоят из двух проводов, соединенных изолирующими распорками.

На сегодняшний день рационально рассматривать два наиболее применяемых вида грозозащитных тросов, которые устраняют недостатки оцинкованных тросов: уплотненные конструкции с применением низкоуглеродистой стали с нанесенной на поверхность смазкой и грозозащитные тросы из стали, плакированные алюминием марки ГТК (рис 1).

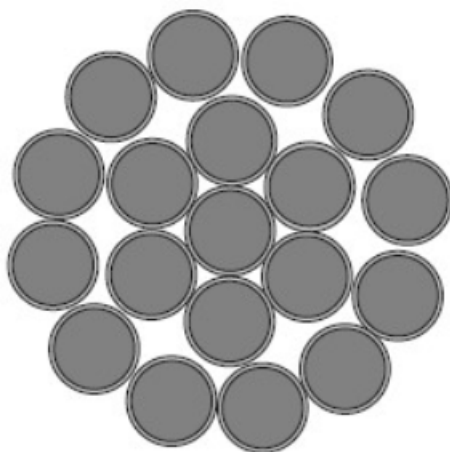


Рисунок 1 – Эскиз грозозащитного троса марки ГТК

Преимущества тросов марки ГТК связано с тем, что его сопротивление значительно ниже сопротивления оцинкованных тросов. Что значительно повышает надежность ЛЭП.

Также, с недавних пор, при строительстве воздушных линий, начали использовать оптические кабели в плакированном алюминии грозозащитном тросе. Оптическое волокно является чувствительным датчиком температуры, акустики и механических нагрузок, что допускает быстро и точно находить место повреждения, дает возможность вычислять индекс износа ЛЭП. Применение оптического кабеля, встроенного в грозозащитный трос позволяет развернуть система мониторинга на ЛЭП, что приводит к повышению качества обслуживания линий.

Сечения грозозащитных тросов напрямую зависит от величины напряжения. Чем напряжение выше, тем сечение троса больше. Например, для ЛЭП с напряжением в 220 кВ используется сечение грозозащитного троса 70 мм^2 , для 35 кВ – 35 мм^2 , для 110-150 кВ– 50 мм^2 .

Литература

1. Ягубов, З.Х. Монтаж проводов и грозозащитных тросов: метод. указания / З.Х. Ягубов, О.В. Узлов, Т.М. Сметанина [Электронный ресурс]. – Ухта: УГТУ, 2008. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/31788776-Montazh-provodov-i-grozozashchitnyh-trosov-vozdushnyh-liniy.html>. – Дата доступа: 22.10.2020
2. Российский Интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://extxe.com>. – Дата доступа: 23.10.2020.
3. Российский Интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://linijaorogu.ru>. – Дата доступа: 23.10.2020.

УДК 621.3

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Мартынович А.Э., Мисюля А.И., Щубрет Е.А.

Научный руководитель –старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Предохранитель - это устройство с низким сопротивлением, которое помещается в электрическую сеть для защиты. В неисправных условиях, когда ток становится больше заданного значения, тогда из-за повышения температуры плавкий провод плавится и ломается, тем самым размыкая цепь. Они используются для более низких номинальных мощностей и могут использоваться только один раз, после чего его необходимо заменить новым. По принципу действия при разрыве тока в электрической цепи предохранители бывают - плавкие, электромеханические, электронные и самовосстанавливающиеся предохранители.

Плавкий предохранитель (Рисунок 1) в электрической цепи всегда подключается последовательно. Принцип его работы - «нагревание вследствие тока». В условиях неисправности через устройство будет протекать ток короткого замыкания. Величина этого значения тока больше по сравнению с нормальными уровнями величины тока. Это вызывает появление в предохранителе большого диапазона температур. Итак, устройство начинает плавиться и ломаться. В этом случае предохранитель выступает в качестве защитного элемента от перегрузки или короткого замыкания. Обычно тонкий кусок плавкого провода содержится в защитной оболочке, чтобы свести к минимуму опасность взрыва дуги, если провод горит с большой силой, как это может произойти в случае сильных перегрузок по току. Жилая проводка обычно использует ввинчивающиеся предохранители со стеклянными корпусами и тонкой, узкой полоской металлической фольги посередине.



Рисунок 1 – Плавкий предохранитель

Самовосстанавливающиеся предохранители (Рисунок 2) изготавливаются из полимерных материалов, заполненных частицами технического углерода. Этот материал имеет определенную электропроводность и, следовательно, может пропускать номинальный ток. Если ток через самовосстанавливающийся предохранитель слишком высок, его мощность нагрева больше, чем мощность охлаждения. В это время температура самовосстанавливающегося плавкого предохранителя начнет непрерывно возрастать, и в то же время полимерная матрица в самовосстанавливающемся предохранителе начинает расширяться, что заставляет частицы технического углерода отделяться. И это приводит к повышению сопротивления, что эффективно снижает ток в сети. В это время, по-прежнему наблюдается небольшой ток через цепь, этот ток удерживает перезагружаемый предохранитель на достаточной температуре для поддержания высокого сопротивления. Когда неисправность устранена, самовосстанавливающийся предохранитель быстро охлаждается и возвращается в свое первоначальное состояние с низким сопротивлением, которое, в свою очередь, может быть переработано, как новый перезагружаемый предохранитель.



Рисунок 2 – Самовосстанавливающийся предохранитель

Электронные предохранители (Рисунок 3) - интегральные схемы, которые могут заменить более крупные обычные предохранители и другие защитные устройства, такие как самовосстанавливающиеся предохранители. Размещены в небольших пластиковых корпусах, они объединяют схему управления и выключатель питания с низким сопротивлением в открытом состоянии, соединяющий входной порт с нагрузкой. При последовательном подключении к основной шине питания электронный предохранитель работает как стандартный предохранитель со способностью обнаруживать и быстро реагировать на условия перегрузки по току и перенапряжения. Когда возникает состояние

перегрузки, устройство ограничивает выходной ток до безопасного значения, определенного пользователем. Если состояние аномальной перегрузки сохраняется, устройство переходит в разомкнутое состояние, отключая нагрузку от источника питания. Предел тока перегрузки может быть запрограммирован с помощью внешнего резистора.



Рисунок 3 – Электронный предохранитель

Электромеханические предохранители, или автоматические выключатели (Рисунок 4) - это специально разработанные выключатели, которые автоматически размыкаются для отключения тока в случае перегрузки по току. Малые автоматические выключатели, например, используемые в жилых, коммерческих и легких промышленных предприятиях, имеют термическое управление. Они содержат биметаллическую полосу (тонкую полосу из двух металлов, соединенных спина к спине), по которой проходит ток цепи, которая изгибается при нагревании. Когда биметаллическая полоса создает достаточное усилие (из-за чрезмерного нагрева полосы), срабатывает механизм отключения и размыкатель размыкается. Автоматические выключатели большего размера автоматически активируются силой магнитного поля, которое генерируется токонесущими проводниками внутри выключателя, или может запускаться для отключения внешними устройствами, контролирующими ток цепи (эти устройства называются защитными реле). Поскольку автоматические выключатели не выходят из строя в условиях перегрузки по току - скорее, они просто размыкаются и могут быть повторно включены путем перемещения рычага - они с большей вероятностью будут обнаружены подключенными к цепи более прочным образом, чем предохранители.



Рисунок 4 – Электромеханический предохранитель

Литература

1. Намитокон К.К. Плавкие предохранители / К.К. Намитокон Р.С. Хмельницкий, К.Н. Аннкева. - Москва: Энергия, 1979. - 176 с
2. Родштейн Л. А. Электрические аппараты / Л. А. Родштейн. - Энергоиздат, 1981 г. -421 с
3. Электрические предохранители: виды и особенности. –Электронный ресурс: <https://tze1.ru/articles/detail/elektricheskie-predokhraniteli-vidy-i-osobennosti>. –Дата доступа: 19.10.2020.

УДК 004.921

ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА PYTHON И ЕГО БИБЛИОТЕКИ MATPLOTLIB.PYPLLOT

Марчук К.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Визуализация данных — это наглядное представление массивов различной информации. Визуальная информация лучше воспринимается и позволяет быстро донести до зрителя собственные мысли и рассуждения. Физиологически, восприятие визуальной информации является основной для человека, так как 90% всей информации человек воспринимает через зрение.

Существует огромное количество способов визуализации данных, но самым простым, а потому и самым распространенным методом визуализации являются графики.

Построение графиков — один из главных этапов обработки данных. Современные компьютерные программы, предоставляющие функцию построения графиков, условно можно разделить на две составляющие:

- программы с визуальным интерфейсом выполняющие различные функции, например: MS Excel, OpenOffice/LibreOffice Calc, Statistica, Grapher.
- программы предназначены только для создания двухмерных и трёхмерных графиков, например: MATLAB и SciLab и различные библиотеки вроде PGPlot и PLPlot.

Основное преимущество программ предназначенные только для создания двухмерных и трёхмерных графиков, заключается в том, что можно встроить построение графика в программу, производящую вычисления. Кроме того, скрипты позволяют легко перестраивать графики с новыми данными, автоматизировать построение графиков, а также дают почти неограниченный контроль над точностью позиционирования и размером графиков [1]. Python — высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Модуль matplotlib — специализированная библиотека для языка Python. Основное её преимущество в простоте и скорости использования, а также она позволяет делать графики очень высокого качества (рис. 1).

В данной работе продемонстрированы следующие способы представления информации на языке Python:

- графика функции
- совокупности графиков функции
- диаграмма
- круговая диаграмма
- создание 3d каркасов

Графиком функции называется множество точек плоскости таких, что абсциссы и ординаты этих точек удовлетворяют уравнению $y=f(x)$.

Построим график нагрузочных потерь электроэнергии за год для линий 10кВ и 0,38кВ по таблице 1. В Республике Беларусь в целом сети 0,38 кВ

составляют около 40% от суммарной протяженности линий электропередач общей протяженностью 202,509 км (воздушные) и 39,923 км (кабельные). От надежности работы сетей 0,38 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от качества расчетов технических потерь в сетях 0,38 кВ – точность определения коммерческих потерь.

Таблица 1 – отери электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38-10 кВ РЭС

Расчетный период (месяц)/ тыс.кВтч	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нагрузочные 0,38 кВ	401,8	279,2	239,7	224,5	195,3	163,8	178,1	180,4	165,1	237,7	251,0	263,5
Нагрузочные 10 кВ	46,9	45,8	33,2	30,1	27,1	22,7	23,4	24,9	20,3	30,2	37,3	36,9

```
import matplotlib.pyplot as plt#импорт библиотеки
import numpy as np#импорт библиотеки
fig=plt.subplots(figsize=(15,10))# создание фигуры, а также задание размера фигуры
y=np.array([401.8,279.2,239.7,224.5,195.3,163.8,178.1,180.4,165.1,237.7,251.0,263.5])#потери электроэнергии в тыс.кВт*ч
y1=np.array([46.923,45.796,33.229,30.085,27.054,22.729,23.408,24.864,20.312,30.171,37.269,36.926])#потери электроэнергии в тыс.кВт*ч
x=np.arange(1,13,1)#массив numpy со значениями от 1 до 12
plt.plot(x,y1,'ro',linestyle='-', label='Линия 10кВ')#построение графика
plt.plot(x,y,'bo',linestyle='-', label='Линия 0.38кВ')#построение графика
plt.title("График нормативных потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38-10 кВ РЭС за год") # Оглавление
plt.xlabel('Месяц')
plt.ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВт*ч")
plt.grid() # нанесение сетки на наш график
plt.legend() # подпись графика
plt.show() # отображение информации
```

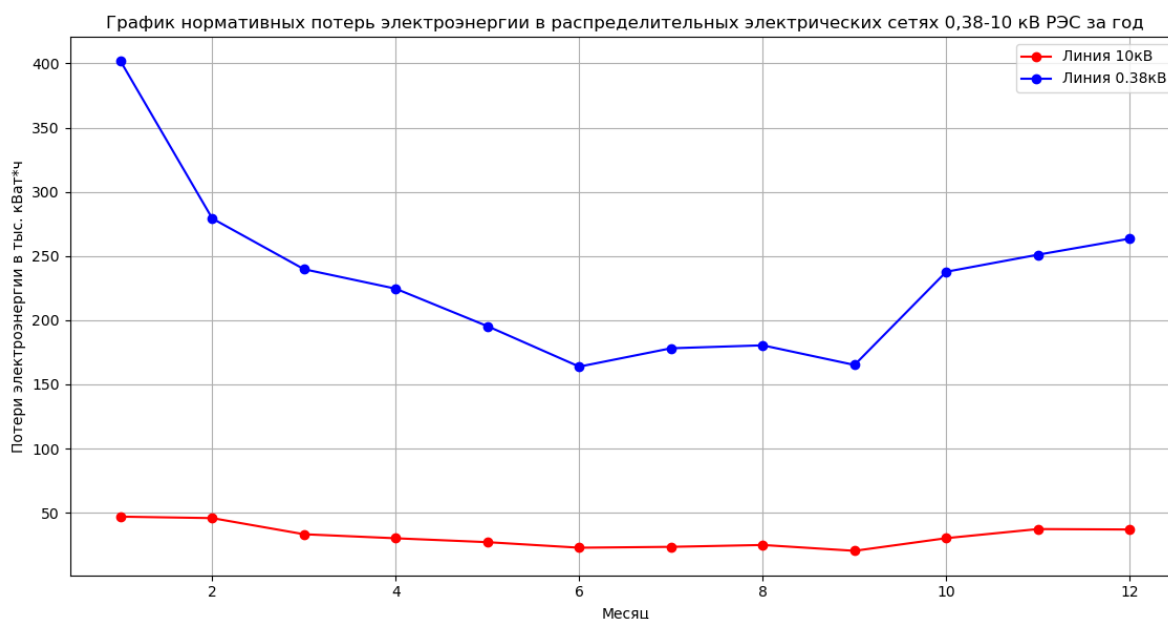


Рисунок 1 – Пример построения графика нормативных потерь электроэнергии при помощи Python

Наглядное построение из рис.1 видно, что нагрузочные потери в сетях 0,38 кВ во много раз больше, чем нагрузочные потери в линиях 10 кВ.Что говорит о проведении мероприятий по общей оптимизации сети для снижения потерь электроэнергии в электрических сетях.

В некоторых случаях необходимо визуализировать информацию для нескольких случаев для дальнейшего анализа и последующего сравнения данных либо же разделить график на отдельные функции(рис. 2).

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
y=np.array((851.57,499.052,500.127,232.822,388.608,297.269,361.311,274.226,344.345,
262.697,232.822,510.638))#потери электроэнергии в тыс.кВат*ч
x=np.arange(1,13,1)#массив numpy со значениями от 1 до 12
y1=np.array((651.57,799.052,590.127,390.32,699.608,297.269,361.311,274.226,589.39,
262.697,281.8,568.638))#потери электроэнергии в тыс.кВат*ч
y2=np.array((901.34,906.052,890.127,456.872,407.63,207.261,391.331,274.226,678.3,
391.627,223.98,458.638))#потери электроэнергии в тыс.кВат*ч
y3=np.array((890.23,744.12,540.112,310.823,633.18,227.221,333.322,474.226,539.1,
432.697,301.8,559.421))#потери электроэнергии в тыс.кВат*ч
fig,ax1=plt.subplots(2,2,figsize=(13,8))# создаем фигуру, а также задаем ее размеры
ax1[0][0].plot(x,y,'-ro')#Построение графика
ax1[0][0].set_xlabel("Месяц")#подпись оси x
ax1[0][0].set_ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВат*ч")#подпись оси y
ax1[0][0].set_title("График потерь электроэнергии за 2019")# подпись графика
ax1[0][1].plot(x,y1,'-bo')
ax1[0][1].set_xlabel("Месяц")
ax1[0][1].set_ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВат*ч")
ax1[0][1].set_title("График потерь электроэнергии за 2018")
ax1[1][0].plot(x,y2,'-yo')
ax1[1][0].set_xlabel("Месяц")
ax1[1][0].set_ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВат*ч")
ax1[1][0].set_title("График потерь электроэнергии за 2017")
ax1[1][1].plot(x,y3,'-go')
ax1[1][1].set_xlabel("Месяц")
ax1[1][1].set_ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВат*ч")
ax1[1][1].set_title("График потерь электроэнергии за 2016")
fig.tight_layout()#автоматически настраивает параметры подзаголовка
plt.show()# отображение информации
```

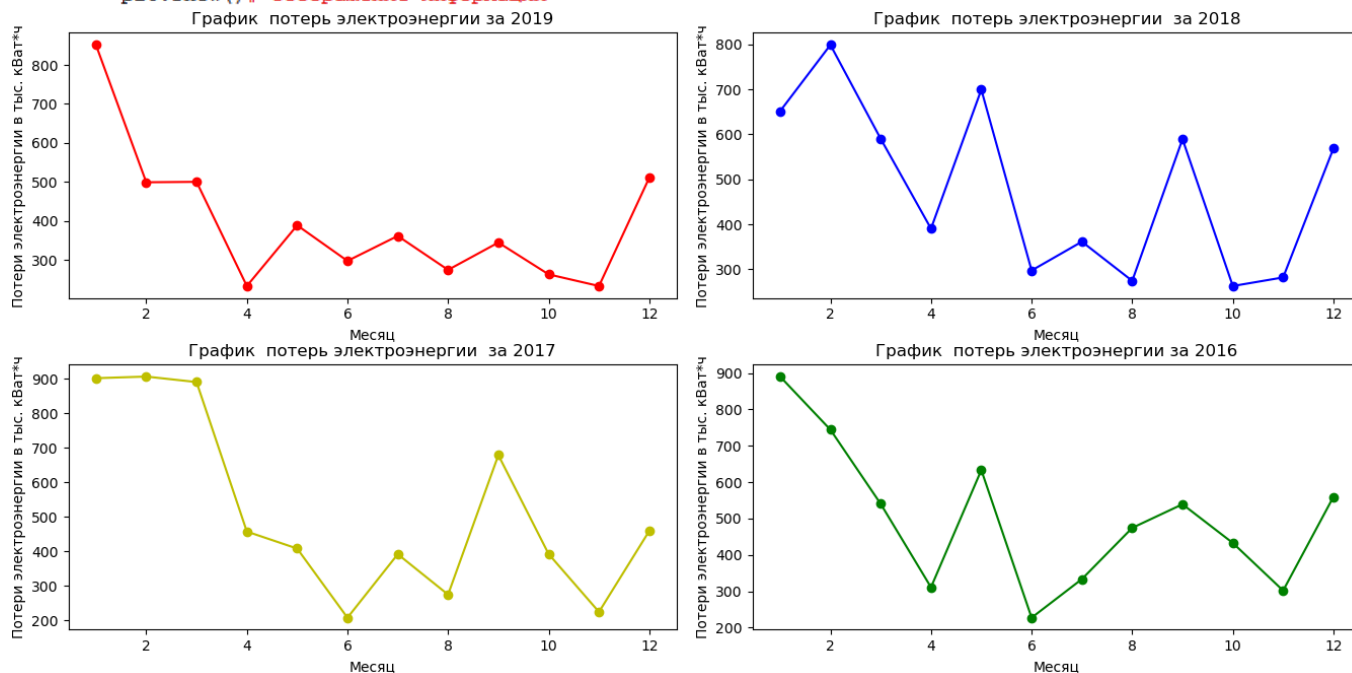


Рисунок 2 – Пример построения графиков нормативных потерь электроэнергии за разные промежутки времени при помощи Python

Диаграмма - один из способов представления статистических данных в графическом виде – в виде столбчатой диаграммы. Диаграммы полезны для представления различных изменений данных за определенный промежуток времени, а также для наглядного сравнения различных величин(рис. 3).

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
x=np.array((851.57,499.052,500.127,232.822,388.608,297.269,361.311,274.226,344.345,
262.697,232.822,510.638))#потери электроэнергии в тыс. кВт*ч
labels=['Январь','Февраль','Март','Апрель','Май','Июнь','Июль',
'Август','Сентябрь','Октябрь','Ноябрь','Декабрь']
fig,ax=plt.subplots(figsize=(13,8))#задаем размер нашей фигуры
ax.bar(labels,x)#создае гистограмму
ax.set_ylabel("Потери электроэнергии в тыс. кВт*ч")
ax.set_title("Диаграмма нормативных потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38-10 кВ РЭС за год")
plt.show()
```

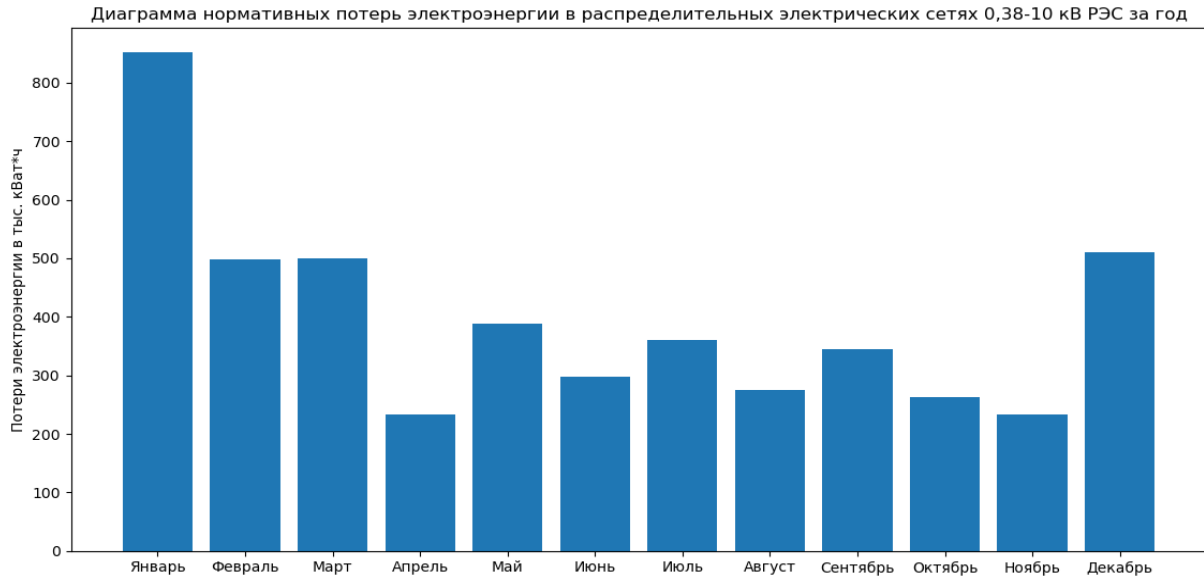


Рисунок 3 – Пример построения диаграммы потерь электроэнергии при помощи Python

Круговые диаграммы — это круглые графики, поделенные на секторы, каждый из которых представляет размер какой-либо связанной части данных(рис. 4).



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
fig=plt.subplots(figsize=(13,8))#задаем размер фигуры
ap=np.array([121,146,189])#потери в кВт*ч
name=["Потери на гистерезис","Потери вихревых токов","Нагрузочные потери"]#подписи на диаграмме
plt.pie(ap,labels=name,shadow=1,explode=(0,0,0.1),autopct="%1.1f%%")#создаем круговую диаграмму
plt.title("Потери трансформатора")#подпись диаграммы
plt.show()#отображение информации
```

Рисунок 4 – Пример построения круговой диаграммы при помощи Python

Помимо построения графиков и зависимостей между двумя параметрами в библиотеке Matplotlib имеется возможность построения трехмерных объектов. Трёхмерная графика — раздел компьютерной графики, посвящённый методам создания изображений путём моделирования объектов в трёхмерном пространстве (рис. 5).

```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import numpy as np
u, v = np.mgrid[0:2*np.pi:20j, 0:1*np.pi:20j] # создаем многомерную плотную сетку
x = np.cos(u)*np.sin(v) # многомерная сетка x со значениями cos(u)*sin(v)
y = np.sin(u)*np.sin(v) # многомерная сетка y со значениями sin(u)*sin(v)
z = np.cos(v)**2 # многомерная сетка z со значениями cos(v)^2
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d') # создаем оси
ax.plot_wireframe(x, y, z) # построение каркаса
plt.show()
```

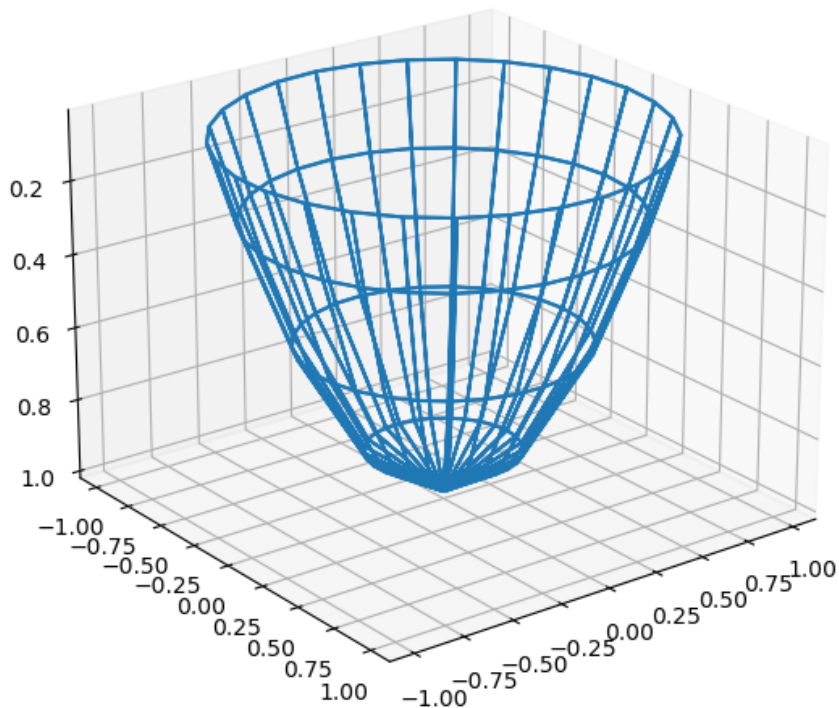


Рисунок 5 – Пример построения 3d-каркаса фигуры при помощи Python

Matplotlib - самая популярная библиотека Python для визуализации данных. Это библиотека для построения 2D-графиков, которой уже более 10 лет и которая поставляется с интерактивной платформой. Можно использовать данную библиотеку для различных целей, таких как создание графиков, гистограмм, спектров мощности, ствол-лист диаграмм, круговых диаграмм и многого другого. Самое лучшее в Matplotlib - это то, что нужно написать несколько строчек кода, а остальное обработается самостоятельно.

Литература

1. Сысоева М.В. Программирование для нормальных с нуля на языке Python / Сысоев И.В. -1-е изд.- Москва: Базальт СПО; МАКС Пресс, 2018. - 180 с.

УДК 620.92

**ПРИЧИНЫ ОТКАЗА ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАН ОТ АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Мензелев А. С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М. И.

В период начального развития мировой атомной энергетики многие специалисты предполагали, что в будущем атомные электростанции (АЭС) станут ключевым источником энергоснабжения в мире. Но эти надежды не оправдались. По состоянию на 2015 г. доля АЭС в мировом производстве электроэнергии составила только 10,6 %. В перспективе до 2040 г. основной прирост мощностей АЭС ожидается в странах, не состоящих в организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), но рост мирового производства на АЭС будет отставать от темпов прироста электропотребления и к 2040 г. доля атомной энергии снизится до 10.1 % соответственно [1, с. 130].

В меняющихся рыночных условиях с сохраняющейся неопределенностью относительно спроса и параметров межтопливной конкуренции, включая цены на энергоресурсы, многие игроки не торопятся вкладывать инвестиции в сложные дорогостоящие проекты с длительными сроками окупаемости, к которым относится и атомная энергетика. Сохраняется в ряде стран высокая озабоченность относительно безопасности производства атомной энергии. Это приводит к заметной корректировке планов по развитию атомной энергетики в сторону сокращения ранее планировавшихся мощностей. На фоне развития сегмента возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергополитиках многих стран произошло «охлаждение» стремлений в области атомной энергетики, но атом по-прежнему остается одним из способов снижения глобальных выбросов углекислого газа (CO_2), которое обозначается многими главной целью преобразований в энергетическом комплексе.

Во многих странах, активно строивших АЭС в предыдущем столетии, достаточно остро стоит вопрос с окончанием сроков эксплуатации энергоблоков, которые, как правило, составляют 40 лет. В результате по большему числу энергоблоков принимаются решения о продлении до 60 лет, в США в 2020 г. планируется подача первых заявок об увеличении срока эксплуатации реакторов до 80 лет. Из 453 действующих в мире энергоблока 87 блоков эксплуатируется более 40 лет. Несмотря на принятые решения по продлению, к 2040 г. предстоит вывод более половины ныне действующих атомных мощностей, которые не во всех регионах будут компенсированы вводом новых блоков [1, с. 130].

Установленные мощности АЭС в мире, согласно выполненным расчетам, вырастут по сравнению с 2015 г. на 45 % до 2040 г. преимущественно за счет стран не-ОЭСР [1, с.131]. Отчасти стабилизация и снижение мощностей АЭС в странах ОЭСР будут компенсированы повышением эффективности работы станций за счет модернизации оборудования на действующих блоках и оптимизации режимов работы в сети. При этом развитие возобновляемой энергетики ставит новые вызовы и перед атомной энергетикой. Раньше работа в

базовых режимах была для АЭС стандартным условием, т. к. генерация на ископаемых топливах позволяла обеспечивать всю неравномерность потребления. Но, по мере увеличения мощностей ВИЭ, всё острее встает вопрос маневренности АЭС. Самый безопасный, но достаточно затратный, способ решения проблемы – использование внешних накопителей энергии. Альтернатива – это изменение нагрузки самих энергоблоков, что на практике возможно, причем различными способами, но ставит дополнительные вопросы в части безопасности, долговечности работы и экономической окупаемости.

Некоторые страны мира вследствие ухудшения экономической ситуации, смены Правительств, отсутствия дефицита электроэнергии, доступности более дешевых угля и газа, высокого уровня расходов на реализацию проектов сооружения АЭС, принимают решения по отказу от планов развития атомной энергетики, отмене дорогостоящих проектов строительства атомных блоков, переносу сроков ввода реакторов. Желание оптимизировать затраты с одновременным технологическим прогрессом и возможностями модернизации позволяет продлевать лицензии на эксплуатацию АЭС. В 2017-2018 гг. отмечалась существенная корректировка программ различных стран в области атомной энергетики [1, с. 132]. В результате расширилось количество стран, планирующих снижать роль атома в энергетике, но остается и много желающих начать на своей территории использование атомной энергии.

Ряд причин, по которым европейские страны (ЕС) отказываются от АЭС:

- Политические причины.
- Причины связанные с опасностью АЭС.
- Аварии на Чернобыльской АЭС и Фукусима АЭС.
- Невыгодность в качестве инвестиции.
- Развитие ВИЭ.

В ЕС, где остро стоит вопрос о безопасности, само общество не признает АЭС, т.к. считает их опасными. При опросах более 70% людей высказывают свое недовольство, аргументируя их авариями на Чернобыльской АЭС и Фукусима. Германия поставила план к 2022 году остановить полностью все АЭС. Однако это не входит в планы Энергетической стратегии в 2010 года. Так как необходимо будет замещать мощности с помощью ТЭЦ, а они работают в основном на угле.

Другой причиной является экономическое обоснование. Не с точки зрения прибыли, а с точки зрения длительности окупаемости проектов, сложности их реализации и большой стоимостью.

Большой акцент идет на развитие ВИЭ. Однако есть ряд вопросов, связанных с ними. Первое это их производство. Производство солнечных панелей само по себе не экологично и очень энергоемко. Приблизительно 600 кВтч энергии используется для производства каждого квадратного метра солнечных батарей, чего достаточно для освещения 1000 лампочек мощностью 60 Вт в течение десяти часов. Средняя энергосистема использует около двух или трех панелей, каждая из которых имеет площадь около 2 м². При установке в выгодном месте солнечная панель может производить до 200 кВтч на квадратный метр электроэнергии в год. Поэтому энергия, используемая в

процессе производства панели, компенсируется только через несколько лет эксплуатации. Для производства солнечных панелей требуется использование многих опасных химических веществ. Яды, такие как мышьяк, хром и ртуть, также являются побочными продуктами производственного процесса. Эти химические вещества могут нанести серьезный ущерб окружающей среде, если их правильно не утилизировать.

Что же касается ветроэнергетики? Прямые следствия строительства ветряков — смерть птиц и летучих мышей, проседание бетонных оснований вглубь почвы — это уже достаточно плохо. Вне поля зрения и внимания остается загрязнение окружающей среды, например, в Монголии. Добыча редкоземельных металлов для производства магнитов турбин порождает токсические и радиоактивные отходы в эпических масштабах. Ветрогенераторы, кроме стекловолоконных лопастей, состоят в основном из стали и бетонных оснований. Им требуется в 200 раз больше материала на единицу мощности по сравнению с современной газотурбинной установкой комбинированного цикла. Сталь производится с использованием каменного угля — не только для выплавки руды, но и для добавления углерода в сплав. Цемент тоже часто производится с использованием каменного угля. Механизмы «экологически чистой» возобновляемой энергии — это продукты экономики ископаемого топлива, в основном угольной экономики.

Поэтому с точки зрения эффективности использования площади, долговечности, ведь ветряки служат около 20 лет, солнечные панели до 15 лет, а АЭС до 50 лет, с точки зрения экологичности производства видно, что АЭС является более эффективным вариантом для применения. Плюс для производства той мощности, которую производит АЭС, необходима постройка не одной теплоэлектростанции (ТЭЦ), что по сравнению со старыми источниками энергии остается хорошей альтернативой.

Выводы:

1. Мы не утверждаем, что развитие и производство солнечных электростанций (СЭС) и ветряных электростанций (ВЭС) не должно продолжаться. Их можно использовать при неравномерностях графиков нагрузки, где АЭС не может похвастаться своей маневренностью. Еще одним преимуществом СЭС и ВЭС является возможность широко использования для промышленных предприятий или для частных хозяйств, домов. Мини АЭС — небезопасно, дорого, сложно. Мини ТЭЦ — дорого, сложно, и как предыдущий вариант, нужно будет использовать для районов, тогда будет хоть какая — либо выгода. А вот СЭС и ВЭС идеально для этого подходят, ведь для дома постоянно работает небольшое количество приборов, и потребление составит около 1,5 – 2 кВт. Такую мощность может покрыть ветряк или солнечная панель. Если подключаются другие приборы — используется аккумулированная энергия. Поэтому отрасль нужно развивать в этом направлении.

2. Полный отказ от АЭС влечет за собой в будущем большие проблемы с обеспечением потребностей в электроэнергии. Кроме экономии и рационального использования электричества идет рост и развитие электропотребителя. Замена АЭС на ТЭЦ приведет к значительным выбросам

CO² в атмосферу, что неприемлемо.

Литература

1. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса // под ред. В. А. Кулагина // М. ИНЭИ РАН, 2020 – 320 с.

УДК 621.3

ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА В НИЗКООМНЫХ ЦЕПЯХ БЕЗ РАЗРЫВА ЦЕПИ, КАК КОНТРОЛЬ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Монич К. И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Любая электротехническая система не обходится без расчета силы тока в цепях, проводниках и приборах. При монтаже электрической проводки в однофазной сети или в трехфазной сети для расчета толщины проводников и автоматических защитных выключателей необходимо знать силу тока, который будет протекать в данных линиях. Правильное измерение – залог безопасной и надежной эксплуатации любого электрического устройства. Знать значение силы тока также необходимо для:

- определения фактической нагрузки в сети. Чтобы определить нагрузку однофазной сети, осуществляется замер на вводном кабеле, полученное значение тока в амперах умножается на напряжение в сети и косинус угла между фазами ($\cos \varphi$). Если отсутствует реактивная нагрузка (мощные индуктивные элементы, дроссели, двигатели), то последнее значение принимается равным единице ($\cos \varphi = 1$);
- для измерения мощности различных приборов. В случае возникновения необходимости измеряется сила тока участка цепи с подключенным потребителем. Мощность определяется по вышеописанной формуле;
- для проверки функционирования приборов учета потребления электроэнергии, например, сверки показаний счетчиков с фактическим потреблением;
- диагностики обмоток электродвигателя. Для диагностики каждой из обмоток замеряют ток в каждой фазе, и если в каждой из фаз он отличается, то в какой-то из обмоток возможно межвитковое замыкание, а если в одной из фаз вообще нет тока — то либо обрыв на линии либо обрыв в обмотке. Если в одной из фаз ток есть но он меньше чем в двух других – возможен плохой контакт.

Умение измерять ток в контролируемой цепи без ее разрыва приобретает особое значение при пусконаладочных работах, сопряженных с большим количеством различных измерений. При этом исключается ряд нежелательных явлений, связанных с разрывом контролируемой цепи под нагрузкой, и ошибки при восстановлении контролируемой цепи после выполнения соответствующих измерений. Для измерения тока без разрыва контролируемой цепи применяют косвенные методы и специальные устройства.

Электроизмерительные клещи предназначены для измерения электрических величин - тока, напряжения, мощности, фазового угла и др. - без разрыва токовой цепи и без нарушения ее работы. Соответственно измеряемым величинам существуют клещевые амперметры, ампервольтметры, ваттметры и фазометры.

Наибольшее распространение получили клещевые амперметры переменного тока, которые обычно называют токоизмерительными клещами. Они служат для быстрого измерения тока в проводнике без разрыва и без вывода его из работы. Электроизмерительные клещи применяются в установках до 10 кВ включительно.

Для измерения параметров переменного тока используются датчики, работающие по принципу обычного измерительного токового трансформатора. Любой трансформатор имеет первичную и вторичную обмотки, установленные на общем магнитопроводе. Первичное напряжение подается на первичную обмотку, в сердечнике создается переменный магнитный поток, наводящий во вторичной обмотке соответствующую коэффициенту трансформации ЭДС. Токи первичной и вторичной обмоток соотносятся как количества витков во вторичной и первичной обмотках.

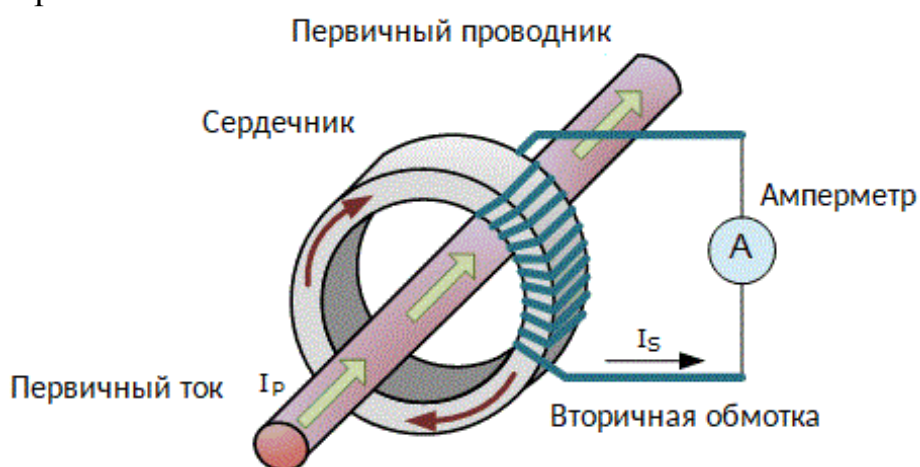


Рисунок 1 – принцип действия электроизмерительных клещей

Так и работает токовый датчик для измерения переменного тока. Магнитопровод в форме клещей замыкается вокруг проводника. Проводник — это первичная обмотка, состоящая из одного единственного витка, значение тока в котором необходимо узнать.

Ток во вторичной обмотке будет пропорционален току в проводнике и отличаться от него в число раз, равное коэффициенту трансформации, то есть во столько раз, сколько витков во вторичной обмотке. Количество витков во вторичной обмотке датчика обычно 1000, 500 или 100.

Если датчик имеет 1000 витков, то клещи имеют обозначение 1000:1 или 1мА/А — это значит что 1 мА в показаниях прибора тождественен 1А в исследуемом проводнике. Или 1А на приборе — 1000 А в проводнике.

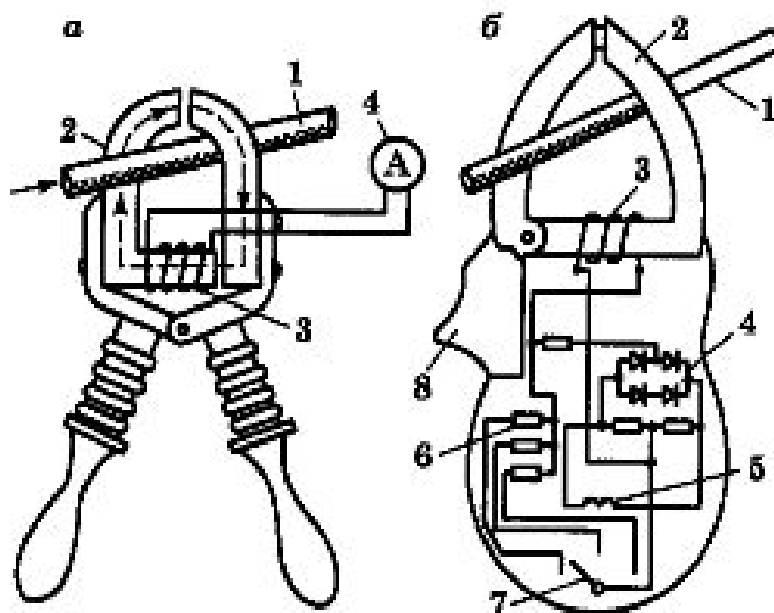


Рисунок 2 – Схемы токоизмерительных клещей переменного тока: 1 - проводник с измеряемым током, 2 - разъемный магнитопровод, 3 - вторичная обмотка, 4 - выпрямительный мостик, 5 - рамка измерительного прибора, 6 - шунтирующий резистор, 7 - переключатель пределов измерений, 8 - рычаг

Существуют токовые клещи, способные измерять не только переменный, но и постоянный ток. В таких клещах принцип их работы основан на эффекте Холла, когда параметры тока выводятся из параметров порождаемого им магнитного поля, воздействующего на полупроводник и инициирующего в нем эффект Холла.

Тонкая пластинка полупроводника устанавливается перпендикулярно магнитному полю тока, который требуется измерить. На пластинку в определенном направлении (допустим вдоль нее) подается ток возбуждения, который отклоняется во внешнем магнитном поле под действием силы Лоренца в поперечном направлении, и тогда в этом направлении на краях пластинки можно измерить ЭДС (напряжение Холла).

При постоянном токе возбуждения через пластинку, ЭДС Холла, как и индукция магнитного поля измеряемого тока, будут пропорциональны измеряемому току. То есть напряжение Холла соответствует току в проводнике, который проходит внутри магнитопровода датчика. Такая схема имеет большие преимущества перед устройствами на базе трансформатора тока.

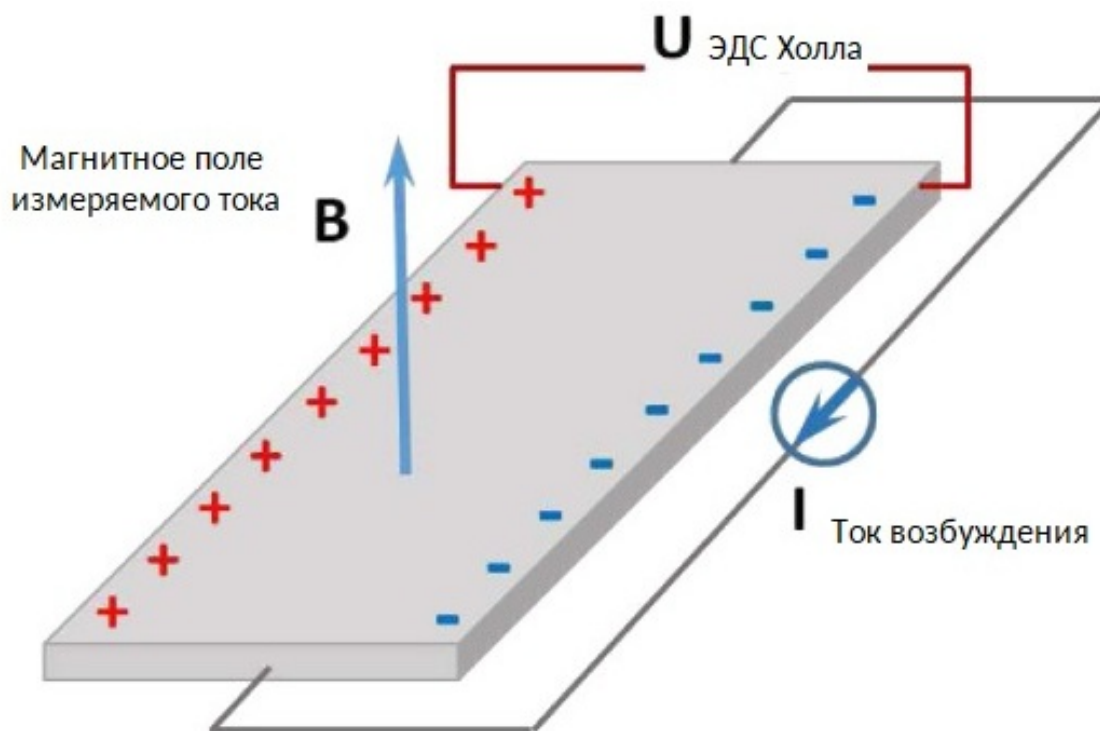


Рисунок 3 – принцип их работы основан на эффекте Холла

Поскольку генерация ЭДС Холла не зависит от направления вектора магнитной индукции, а зависит только от его величины, датчик на основе эффекта Холла измеряет как переменный, так и постоянный ток. К тому же датчик абсолютно точно фиксирует фазу изменения (направления) магнитного поля, а значит пригоден для наблюдения формы тока.

Клещи с датчиком Холла бывают с одним либо с двумя встроенными датчиками. Различные модели клещей обладают широким динамическим диапазоном и частотной характеристикой, линейностью сигнала и высокой точностью.

Область применения таких клещей охватывает всё оборудование с постоянным током до 1500 А без необходимости встраивания дорогих шунтов. Переменный ток частотой в десятки килогерц также измерим при помощи клещей на базе эффекта Холла, причем форма тока может быть самой разной, среднееквадратичное значение будет найдено.

Подводя итог можно сказать, что измерение тока электроизмерительными клещами — это просто и удобно. Результат измерения прибор отображает на своей шкале в виде напряжения или тока пропорциональной измеренному току величины. Достоинство метода заключается еще и в том, что прибор может и не иметь достаточно широкого входного диапазона, тогда как датчик - клещи вполне в состоянии свободно принять проводник даже с очень большим током.

Проводник с измеряемым током не только остается целым, но и всегда гальванически изолирован от цепей измерительного прибора. Сам же прибор может иметь входную цепь с очень высоким импедансом и даже быть заземлен. Здесь нет необходимости как-то регулировать или включать и выключать

питание цепи, параметры которой измеряются клещами, а значит в работе питаемого оборудования не будет простоев.

Литература

1. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович. –Москва, 2020 -271 с.
2. Лукьянов Т.П. Наладка электроустановок / Т.П. Лукьянов. –Москва:Все союзное учебно-педагогически издательство профтехиздат, 1962 -621 с.
3. Панфилов В.А. Электрические измерения / В.А. Панфилов. – 8-е изд. - Москва:издательский центр «Академия», 2013 -288 с.
4. Как работают датчики и токовые клещи для измерения постоянного и переменного тока [Электронный ресурс]Electrikinfo. – Режим доступа: <http://elektrik.info/>. – Дата доступа: 05.10.2020.
5. Электроизмерительные клещи – виды, принцип действия, использование [Электронный ресурс] Elektrikschool. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/>. – Дата доступа: 05.10.2020.

УДК621.3

**СЕКЦИОНИРОВАНИЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ
10кВ РЕКЛОУЗЕРАМИ**

Монич К. И.

Научный руководитель –старший преподаватель Попкова Н.А.

Проблемой для сетей 10кВ является их протяженность, большое расстояние от центра питания до самого удаленного потребителя. Длина линии 10 кВ может достигать 50 км и более. При этом каждое повреждение приводит к отключению всех присоединённых к линии потребителей, в том числе потребителей первой категории. По статистике именно в этих сетях происходит наибольшее количество аварий. 70% всех нарушений работы случается именно на данных линиях. Длительность отключений потребителей составляет около 70-100 ч в год, что значительно выше, чем в технически развитых западных странах [3].

Один из путей решения проблемы – так называемое секционирование – разделение ВЛ на участки для вывода из эксплуатации её части на время ликвидации аварии. Пункты секционирования устанавливаются как на магистрали (последовательное секционирование), так и в начале ответвлений (параллельное секционирование).

Классическим вариантов секционирования линии является установка линейных разъединителей. Однако объем недоотпуску электроэнергии всем потребителям на время, необходимое для поиска и устранения повреждения или для локализации поврежденного участка и ручного включения резерва, остается большим.

Исследования специалистов, как в России, так и за рубежом, свидетельствуют о том, что одним из наиболее эффективных способов повышения надёжности электроснабжения в воздушных распределительных сетях является реализация автоматического подхода к управлению аварийными режимами [4].

Для снижения недоотпуск электроэнергии потребителям электрической сети и повышения надежности компания «Таврида электрик» предлагает мероприятия по автоматизации и резервирования воздушной линии, путем установки реклоузеров.

По данным компании, поле автоматизация сетей – среднее время перерывов в электроснабжении снизилось до 49 мин с 6 ч 30 мин для Багратионовского РЭС и до 1 ч 14 мин вместо 2 ч 30 мин в Мамоновском РЭС (рисунок1). Поменялся также и сам принцип поиска поврежденного участка и работы оперативной бригады (ранее поиск и локализация места аварии занимали значительное время [1])[2].

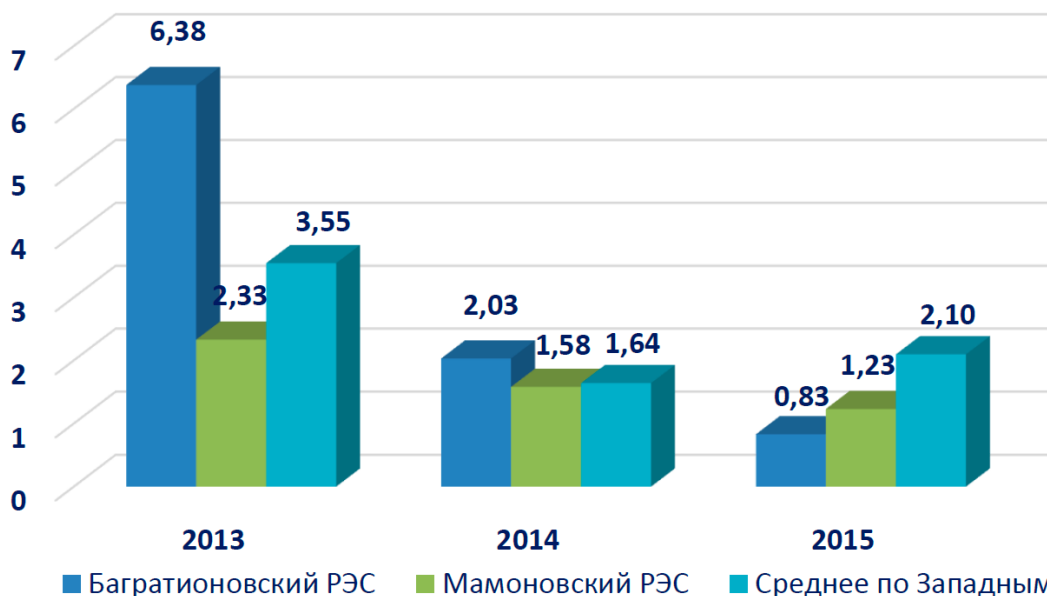


Рисунок 1 – Средняя продолжительность перерывов электроснабжения потребителей

Применение реклоузера подразумевает следующие основные варианты автоматического секционирования воздушных распределительных сетей [5]:

- секционирование линий с односторонним питанием и сетевым резервом;
- секционирование линий с применением плавких предохранителей;
- разборка и сборка длинных фидеров;
- построение открытых распределительных устройств;
- подключение абонентов электрической сети;
- разграничение балансовой принадлежности между субабонентами;
- оптимизация диспетчерского управления сетью;
- резервирование потребителей от двух и более независимых источников.

Очевидным преимуществом использования реклоузеров стало заметное снижение затрат на эксплуатационные расходы и уменьшение недоотпуска электроэнергии (рисунок 2). Средний срок окупаемости реклоузеров в «Карелэнерго» составляет 7,5 лет.

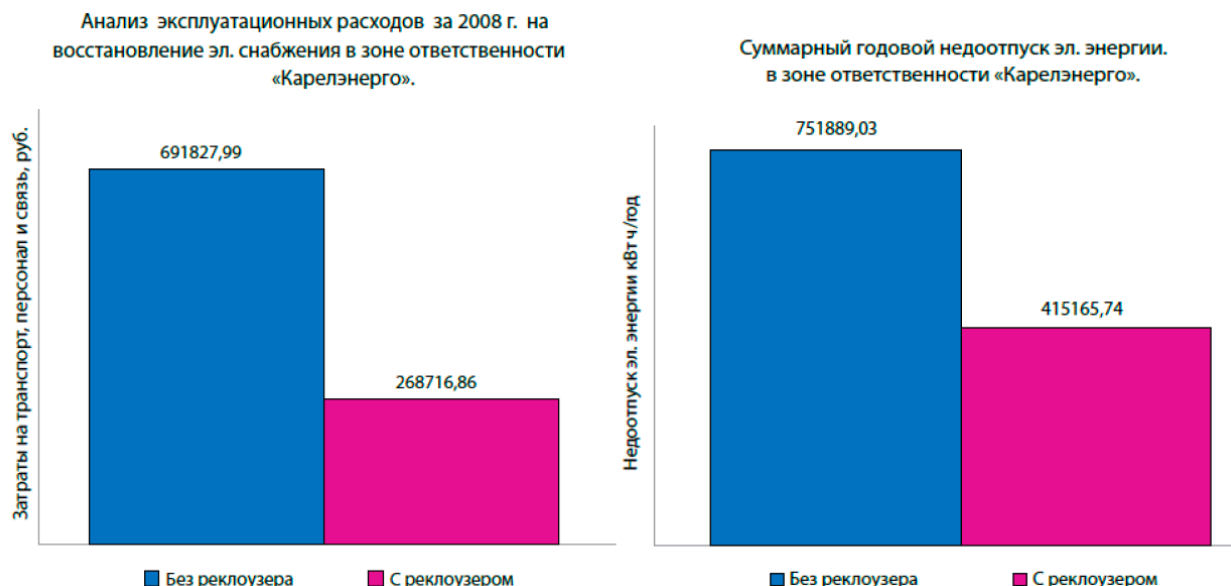


Рисунок 2. Анализ затрат на эксплуатационные расходы и значения недоотпуска электроэнергии.

Литература

1. Симонов, А. Новый уровень управления аварийными режимами распределительных сетей с помощью реклоузеров / А. Симонов // *Электрик*. – 2012. – №11. – С. 8-11.
2. Никишин А. Ю. Применение реклоузеров в сетях оао «янтарьэнерго» для решения проблем в распределительных сетях среднего напряжения / Никишин А. Ю, И. С. Беклемешев // *Научный журнал «Известия КГТУ»*. - №44. - 2017 г.
3. Современная релейная защита и автоматика для целей автоматизации воздушных распределительных сетей 6-10 кВ / С.А. Бузин, В.В. Воротницкий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2007/eltf/strelnikova/library/3.pdf>.
4. Воротницкий В. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ / В. Воротницкий, С. Бузин // *Новости электротехники*, №3, 2005. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php>.
5. Реклоузер вакуумный серии РВА/TEL. ТШАГ 674153.101 ТИ. Техническая информация. – Изменение №6. – 82 с.
6. А.И. Карпов. Оптимизация количества и мест установки автоматических пунктов секционирования для повышения надёжности электроснабжения // *Институт энергетики и транспортных систем кафедры "Электрические системы и сети"*. - 2017

УДК 621.3

АРМАТУРА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ: НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВИД

Мурашко Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Кабельная арматура - является востребованным продуктом в большинстве видов работ. Качественная и надежная арматура – гарантия безопасности при ее эксплуатации.

Кабельная арматура выполняет множество важных функций, среди которых - повышения прочности системы кабелей при различных нагрузках, сохранение целостности энергокабельной линии, объединение кабельной системы, ее оконцевание, и многое другое. Кабельные сети в основе относятся к смешанной категории. Различают несколько видов изолирование кабеля – бумажное и полимерное. Кабельная арматура – незаменимая вещь при соединении различных проводов и кабелей

Среди наиболее известной и широко используемой кабельной арматуры стоит отметить такие изделия, как:

- различные муфты;
- соединители для соединения системы;
- гильзы, изолирующие и защищающие места соединения;
- арматура для самонесущихся изолированных проводов;
- заглушки;
- материалы, направленные на самогерметизацию муфты;
- оборудование, назначением которого является нарезка/разделка кабелей;
- оконечные кабельные устройства.

Основным видом кабельной арматуры является муфта. Используют различные типы и виды муфт, каждый из которых имеет разное предназначение:

- Соединительные муфты предназначены для соединения отдельных строительных длин кабеля при сооружении линии. Разновидностью соединительных муфт можно считать ответвительные муфты, которые применяются для соединения и ответвления силовых кабелей на напряжения до 1 кВ.
- Стопорные и полустопорные муфты применяются для соединения строительных длин и одновременного секционирования кабельных линий с целью предотвращения перетекания масла или пропиточного состава из секции в секцию.
- Концевые муфты, предназначены для оконцевания кабельных линий.

Различают три базовые группы кабельной арматуры:

- Станционная — применяется для линий связи в типовых помещениях телефонных станций;
- Оптически-волоконная линия связи. Такая арматура относится к устройствам, предназначение которых состоит в прокладке, соединении, а также оконцевании и дальнейшем закреплении кабеля и оптических волокон;

- Кабельная структурированная система. Такого типа устройства используются с целью прокладки и оконцевания интернетных-кабелей, как правило, в офисных помещениях.

Качественная арматура для кабельных сетей обладает следующими важными свойствами:

- повышенное сопротивление коррозии;
- механическая и химическая устойчивость;
- выносливость к температурным перепадам;
- возможность монтажа при низких температурах;
- способность выдерживать воздействие экстремальной внешней среды;
- долгосрочное хранение;
- большой диапазон усадки без уменьшения силы;
- надежная герметизация;
- повышенный срок эксплуатации.

Выбор кабельной арматуры зависит от:

- типа изоляции (полимер, бумага и пр.), конструкции и номинального напряжения кабеля;
- количества и типа сечения проводников (жил);
- условий монтажа (открытый воздух, грунт, внутри помещения и т. д.).

Литература

1. Novosibdom.ru. Кабельная арматура: где и как применяется / Novosibdom.ru // – Режим доступа:<http://novosibdom.ru/node/1843> - Дата доступа 19.09.2016
2. Sovsys.by. Кабельная арматура / Novosibdom.ru // – Режим доступа:<https://sovsys.by/product/kabelnaya-armatura/>- Дата доступа 11.08.2020

УДК621.3.

СТАРЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Мятлев Е.В., Хитров И.С.

Руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

На сегодняшний день развитие различного рода электрооборудования идёт весьма быстрыми темпами. Основные направления развития это увеличение мощности, коэффициента полезного действия, уменьшение размеров устройств и агрегатов. При этом важным вопросом является выбор проводников и изоляции.

Существует довольно большое разнообразие изоляционных материалов, например, фарфор, бумага, воздух, элегаз, масло и т.д. У них все разные свойства и агрегатное состояние. В зависимости от электроустановки выбирается тот или иной изоляционный материал: для трансформаторов масло, для изоляторов на линиях электропередачи фарфоровые изоляторы.

Со временем происходит износ изоляции и снижаются ее параметры, один из которых электрическая прочность. Если ориентироваться на зависимость пробивного напряжения, которая расположена на промежутке времени, то на отдельных промежутках времени механизм разрушения изоляции имеет различную физическую природу. При этом границы действия того или иного механизма разрушения достаточно условны и зависят от конструкции изоляции, вида материала и условий работы. Помимо этого, зависимость пробивного напряжения от времени его воздействия $U_{пр} = f(t)$ (кривая «жизни» изоляции) является статистической характеристикой, для которой среднее квадратичное отклонение пробивных напряжений доходит до большой величины.

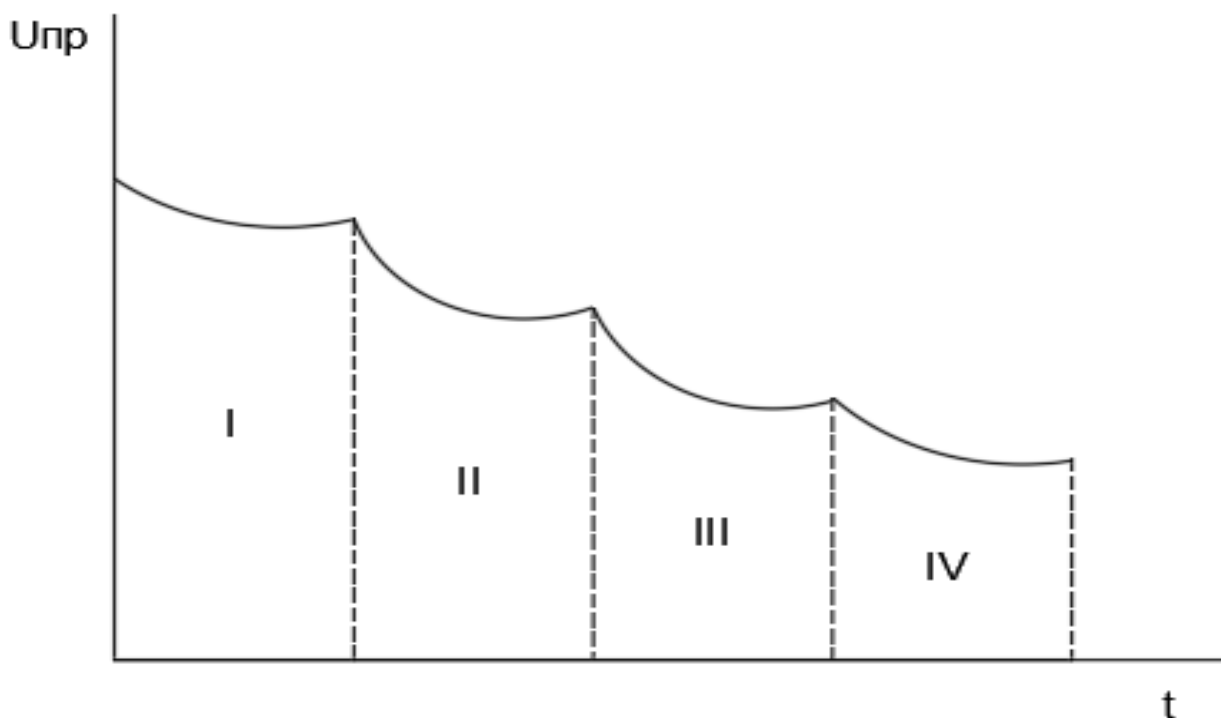


Рисунок 1 – Зависимость пробивного напряжения от времени воздействия напряжения

В первом промежутке времени от микросекунд до нескольких миллисекунд за ухудшение изоляции отвечают электрические процессы. В этом промежутке свободные электроны под действием электрического поля получают энергию, которая достаточна для ионизации нейтральных молекул и образования лавины электронов. Для того, чтобы возник электрический пробой, необходимо, чтобы время действия напряжения было больше времени развития разряда. Очевидно, что это время будет зависеть от толщины и свойств материала, наличия различных примесей.

Во втором промежутке место главного источника пробоя занимают тепловые процессы. Изоляция обладает окончательным значением проводимости, кроме того, в изоляции протекают поляризационные процессы, из-за которых возникает потеря энергии. При долговременном использовании происходит нагрев изоляции, что и дает дальнейшее увеличение диэлектрических потерь и дальнейшее увеличение мощности. Весомую долю тепла изоляция получает от токоведущих частей. При несоблюдении баланса получаемой и отводимой тепловой энергии от изоляции процесс может приобретать лавинообразный характер, что, в конечном итоге, может приводить к пробую изоляции и тепловому разрушению. Также из-за появления частичных разрядов возможно старение изоляции в газовых включениях и расслоениях изоляции, которые возникают в изоляции из-за импульсных перенапряжений.

В промежутке времени от нескольких часов до нескольких лет (зоны III и IV) пробивные напряжения и старение изоляции можно определить медленно протекающими процессами. Частичные разряды слабой интенсивности играют главную роль в этом процессе. В жидкой изоляции процесс медленного старения завязан с окислительными процессами, которые ускоряются при взаимодействии металла с жидкостью, и взаимодействии озона и кислорода.

Электрическая прочность внутренней изоляции должна быть выше значения возможных отклонений рабочего напряжения при длительном воздействии напряжения. Однако, определить электрическую прочность изоляции при дальнейшем влиянии напряжения при помощи эксперимента невозможно, так как для этого требуется достаточно много времени. Поэтому прочность изоляции в больших промежутках опеределают по результатам измерения интенсивности процесса старения.

Электрическое старение изоляции тесно связано с накапливающимся микротрещинами от разрядов. Частичные разряды приводят к планомерному разрушению большинства видов изоляции: при каждом разряде только небольшая его часть энергии уходит на необратимое разрушение молекулярных связей материала, поэтому разрушение наступает достаточно медленно. Через некоторое время микротрещины будут видны на глаз.

Скорость разрушения и его масштабы для разных материалов — разные. Органические диэлектрики, под действием частичных разрядов, выделяют проводящие соединения углерода, а также газы: метан, водород, ацетилен, углекислый газ. При разрыве молекулярных связей твердых диэлектриков, образуются радикалы.

Маслобарьерная и бумажно-масляная изоляции могут менять электрические характеристики и физико-химические свойства в каждой составляющей: минеральное масло и бумага, электрокартон — стареют, проводимость в итоге возрастает, пропиточный состав становится менее пригодным, появляются благоприятные условия для возникновения вредоносных пробоев.

Если говорить о масле, то в сильных электрических полях электроны получают в нем достаточно энергии, чтобы разрушить молекулы углерода, в следствии чего выделяется водород. Особенно хорошо этот процесс проходит в изоляции высоковольтных линий, причем для каждого вида изоляции характерна своя интенсивность разрушения, которая зависит от состава самой изоляции.

Диэлектрики изначально твердые, через время они становятся хрупкими, так значительно большая механическая нагрузка на кабель может привести к небольшим трещинам и к разрушению нашей изоляции. Жидкие диэлектрики со временем испаряются, превращаясь частично в газ, следовательно, электрическая прочность такой изоляции через промежуток времени уменьшится.

Влага является не менее важным фактором, который способствует утечкам. В любое время на изоляцию кабеля может попасть влага, будь это конденсат, образованный из-за термоокислительных процессов, или просто вода из внешней среды, тот же самый дождь.

Например, от воздействия влаги на кабель уменьшается сопротивление изоляции, так как свободные ионы способствуют повышению тока утечки. Диэлектрические потери увеличиваются, в итоге это ведет к пробое. Но даже если пробоя нет, то влага все равно способствует перегреву изоляции, и поэтому от теплового перегрева не уйти.

Поэтому очень важно, чтобы изоляция всегда была сухой. На крупных производствах, в связи с этим положением, следят за влажностью изоляции, принимают различные меры, чтобы устранить данный фактор, либо приблизиться к минимуму.

Литература

1. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Дата доступа 18.10.2020.
2. Школа для электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://electricalschool.info/main/ekspluat/1943-kakie-factory-vlijajut-na-starenie.html> – Дата доступа 18.10.2020.

УДК 621.311

ХИЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Мятлев Е.В.

Руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Не маловажным показателем эффективной работы энергосистемы является уровень коммерческих потерь при передаче электроэнергии. Большую часть этих потерь являются хищения со стороны злоумышленников. Хищения, с точки зрения закона, представляют собой совершенное с корыстной целью противоправное безвозмездное изъятие и обращение чужого имущества в пользу виновного или других лиц, причинившие ущерб собственнику или иному владельцу этого имущества.

Выработка, потребление, распределение электроэнергии происходит одновременно, это и способствует хищению. Большая потребность электроэнергии, нагрузки различного характера, наличие технических и коммерческих потерь — все эти факторы влияют на результаты измерения установленной электроэнергии как расчетными, так и контрольными приборами учета.

Способы хищения электроэнергии можно разделить на две группы. 1 группа – расчетные способы хищения, к ним относятся:

- а) занижение реального расхода электроэнергии.
- б) занижение расчетных потерь активной мощности в абонентских трансформаторах и в линии.
- в) использование ступенчатых тарифов электроэнергии.
- г) использование ограничений счетного механизма счетчиков.

Фактический расход электроэнергии равен произведению разницы показаний счетчика активной энергии на расчетный коэффициент счетчика и на коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов.

При составлении договора энергоснабжения производится расчет потери электроэнергии и этот расчет оформляется в виде приложения к договору. В некоторых снабжающих организаций расчет электроэнергии не производится, с абонентов взимается определенный процент за потери электроэнергии, за трансформаторы, например, взимается около 6 %. Данный расчет должен быть согласован обеими сторонами. Возможен такой случай, что за выполнение расчета отвечает потребитель или от него только требуется данные для расчета, тогда создаются предпосылки для занижения оплаты потерь, что является своего рода хищением части электроэнергии.

Для того, чтобы стимулировать потребителей к экономии и энергосбережению в некоторых энергоснабжающих организациях вводятся ступенчатые тарифы, которые возрастают по мере увеличения потребления электроэнергии. Потребитель может снизить свою оплату по повышенному тарифу, если он будет ограничивать свое потребление электроэнергии в период ее высокого расхода.

Данный расчет производится по разнице показаний счетчика в начале и в конце оплачиваемого периода, недобросовестный потребитель может

оплачивать по минимальной ставке электроэнергию, в действительности потребленную во время действия более высокого тарифа.

Мероприятия для устранения хищения электроэнергии расчетными способами:

1. Учет электроэнергии при помощи автоматических систем.

Данное мероприятие позволит производить автоматическое получение и расчет оплаты показателей, при помощи прибора учета электроэнергии. Оно позволит уменьшить трудоемкость работы при обработке данных, сдаваемых потребителями электроэнергии.

2. Разработка организацией потребителям тарифов, которые учитывают расчетные потери и верные ставки тарифов.

В данном случае организации при разработке новых тарифов должны учитывать фиксированный процент на потери разного рода, что и поможет избежать занижения показателей при расчете потребленной электроэнергии со стороны потребителя. Ставка обязательно принимается фиксированной, а ступенчатая в этом варианте не предполагается.

3. Проверка энергоснабжающей организацией расчетов, потребленной электроэнергии.

Данное мероприятие должно включать в себя пересчет показателей электроэнергии, сданных потребителями в сбытовую компанию.

4. Совершенствование договоров на энергоснабжение.

В этом случае сбытовая компания должна заключать договора с потребителями электроэнергии с учётом норм потребления электроэнергии, вводить скидки на оплату при большом количестве потребленной электро- энергии, а не использовать ступенчатые тарифы, которые позволяют снижать показатели прибора учета при оплате.

2 группа – технологические способы хищения, к ним относятся:

а) подключение нагрузки к безучетным питающим электросетям.

В этом способе приборы потребления подключаются непосредственно перед счетчиком. А обеспечение безопасных условий для замены электросчетчика (установка приборов защиты) благоприятно влияет на хищение электроэнергии путем подключения нагрузки к коммутационному аппарату или приборов защиты включенным перед счетчиком. Такое подключение обычно выполняется скрытой проводкой;

б) изменение схем первичной и вторичной коммутации приборов учета.

Для этого способа используется автотрансформатор мощностью 150-200 Вт с с напряжением на вторичной обмотке от 3 до 15 В. Так как основное свойство автотрансформатора является регулирование входного напряжения, то при помощи такой регулировкой можно добиться практически любого желаемого эффекта. Диск может вращаться в противоположную сторону, может замедлить свое вращение либо вовсе остановиться. Обнаружить такой способ хищения даже при видимом наличии в цепи автотрансформатора является сложной задачей;

в) Непосредственное вмешательство на счетный механизм электросчетчика. Самый простой и достаточно эффективный способ является механическое воздействие на счетчик путем его наклона до полной остановки диска, чаще всего и лучше этот метод применяется для однофазных счетчиков. Это достаточно легко сделать: требуется открутить верхнее крепление счетчика к панели. Винты имеют открытый доступ и расположены вдали от клеммной коробки.

Не менее сложным в исполнении является также способ торможения диска счетчика при помощи обычной фотопленкой, которая должна проникнуть в щель окошка счетчика до тех пор, пока она не упрется в диск. Чтобы это получилось нужно убрать защитное стекло корпуса.

Также возможен и другой способ: сверлиться отверстие в корпусе счетчика и просовывается проволока, аналогичным диаметром отверстия, до упора в диск.

Мероприятия для устранения хищения электроэнергии техно-логическими способами:

1. Установка границы балансовой принадлежности на стороне собственников жилья. Данное мероприятие позволит разграничить ответственность между потребителем и сбытовой компанией, на чьей стороне будет ответственность за несанкционированное подключение нагрузки до прибора учета.

2. Установка счетчиков в закрытые коробки, защищаемые от механических воздействий злоумышленников. Данное мероприятие не позволит изменить схему подключения счетчика и подключения автотрансформаторов в сеть.

3. Улучшение схем работы счетчиков электрической энергии. Прибор должен быть уже рассчитан на все схемы хищения электроэнергии и на защиту от от перепрограммирования.

4. Установка электронных счетчиков вместо. У механического большие погрешности, а у электронного их практически нет. Механическое воздействие на электронный счетчик невозможно.

5. Установка общедомового прибора учета для выявления хищений электроэнергии. Общедомовой прибор учета позволит выяснить, происходит ли хищение электроэнергии в доме. Чтобы понять было ли хищение со стороны потребителя нужно посчитать суммарное потребление электроэнергии в каждой квартире при помощи метода сложения общей мощности и сравнить с оплаченной электроэнергией и счетчиком.

6. Проверка установленных пломб на счетчиках через определенный промежуток времени. С помощью такой проверки легко понять, был ли несанкционированный доступ к прибору, вследствие этого наказать потребителя за хищение электроэнергии.

7. Постоянная проверка схем подключения счетчиков к электрической сети. В этом случае проверка схем подключения энергосбытовыми компаниями позволит своевременно обнаружить незаконное изменение схемы подключения и наказать незаконного потребителя.

8. Проверка потребителя на наличие скрытой проводки протянутой к

счетчикам. При помощи такой проверки достигается своевременное устранение этой проводки, которое остановит хищение электроэнергии.

В организации, ответственной за снабжения потребителя электроэнергией, должна быть утверждена система поощрения за выявление хищений. Так же влияние окажет контролер приборов электроэнергии, который будет способствовать сокращению нерациональному расходу электроэнергии.

Литература

1. Красник, В.В. 102 способа хищения электроэнергии / В. В. Красник. М.: ЭНАС, 2010.— 160 с.

УДК 621.3

**РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ,
ЦИФРОВОЙ РЭС**

Науменко В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

В РУП «Гомельэнерго» ведется активная работа по автоматизации электрических сетей. Основными задачами автоматизации электрических сетей являются повышение надежности электроснабжения потребителей, минимизация перерывов в электроснабжении, снижение времени отыскания поврежденного участка, экономия трудовых и транспортных затрат при производстве переключений, повышение безопасности персонала. Автоматизация также позволяет повысить ресурс головного выключателя 10 кВ на питающих подстанциях, уменьшить количество протеканий токов коротких замыканий по головным участкам линий, заменить части физически изношенного и морально устаревшего оборудования, дистанционно контролировать положения коммутационных аппаратов 10кВ, а также оперативно управлять отдаленными коммутационными аппаратами, установленными в точках нормальных разрывов.

Для выполнения данных задач в РУП «Гомельэнерго» разработаны мероприятия, которые были включены в комплексную программу развития автоматизации Белорусской энергосистемы на период 2018-2022 г.

Программа включает в себя создание информационной системы «Паспортизация электрических сетей» на базе SAP ERP, автоматизацию районов электрических сетей, замену либо модернизацию диспетчерских щитов управления, телемеханизацию оборудования, установку реклоузеров 10 кВ, установку шкафов учета наружного освещения с функцией телеуправления и телеизмерений.

Наиболее значимым проектом на данном этапе является проект по созданию информационной системы «Паспортизации электрических сетей на базе SAP ERP», как самостоятельной подсистемы «ТОРО» (техническое обслуживание и ремонт оборудования). Данный проект является базовым для решения многих задач по управлению и организации эксплуатации электрических сетей.

Среди основных проектов в Гомельской энергосистеме, реализация которых была начата в 2017 году и продолжается в текущем году, можно отметить проект «Автоматизация Ельского РЭС», состоящего из четырех очередей.

Также в 2018 году начаты работы по автоматизации распределительных электрических сетей Кормянского РЭС. Выполнение работ запланировано путем реализации двух отдельных объектов строительства:[1]

- • реконструкция участков линий 10 кВ от подстанции 110 кВ «Корма» и подстанции 35 кВ «Коселяцкая» с установкой пунктов секционирования для обеспечения надежности водоснабжения населенного пункта Корма.
- • автоматизация Кормянского РЭС, здесь предусмотрена установка необходимого оборудования и программного обеспечения

автоматического управления распределительными электрическими сетями.

Дальнейшая автоматизация распределительных электрических сетей Кормянского РЭС планируется путем модернизации существующих трансформаторных подстанций, установки дополнительных реклоузеров с привязкой к существующему программному обеспечению в районной диспетчерской службе Кормянского РЭС.

В Наровлянском РЭС ведется реконструкция системы сбора и передачи телеметрических данных на четырех подстанциях 35-110 кВ с выдачей телеинформации в районной диспетчерской службе Наровлянского РЭС.

В 2018 году в план проектно-изыскательских работ включен объект «Автоматизация Октябрьского РЭС», включающий в себя полный комплекс работ по автоматизации распределительных сетей 0,4-10 кВ.

В Гомельской энергосистеме на объектах распределительных электрических сетей установлено 75 реклоузеров 10 кВ. Лидером по количеству установленных реклоузеров является Речицкий сельский РЭС – 35 штук.

В филиалах РУП «Гомельэнерго» в рамках Комплексной программы продолжается установка шкафов учета наружного освещения с функцией телеуправления и телеизмерений, которые позволяют дистанционно снимать показания со счетчиков и изменять время включения и выключения уличного освещения по заданной программе с диспетчерского пульта. Данное оборудование является собственной разработкой филиала «Инженерный центр» РУП «Гомельэнерго».

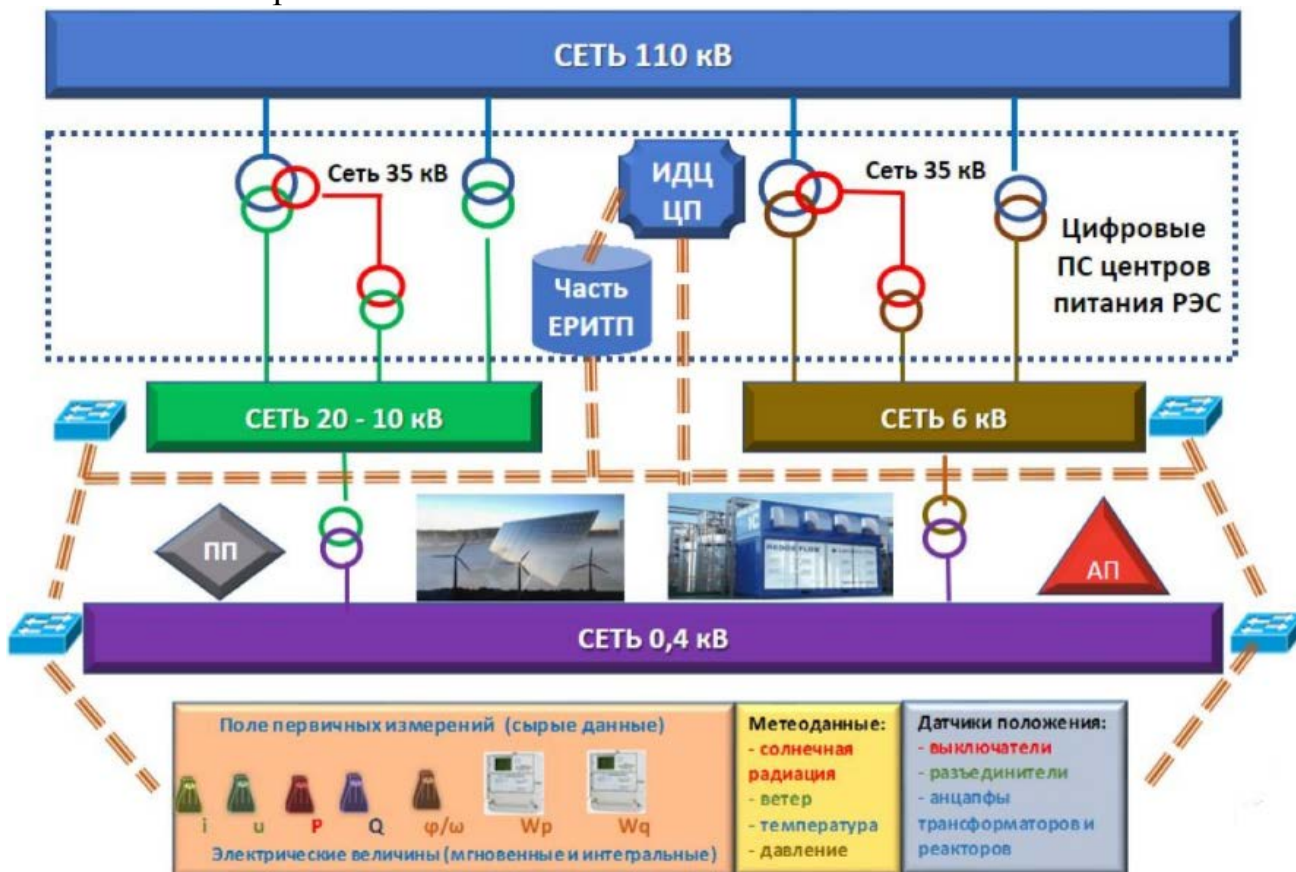


Рисунок 1 – Вариант общей архитектуры цифрового РЭС

В 2016 году был реализован первый этап программы автоматизации, в ходе реализации которого было установлено 8 реклоузеров. Одним из преимуществ применяемого оборудования стала возможность его монтажа на существующие опоры, что позволило избежать дополнительных затрат на реконструкцию и изменение топологии распределительной сети, а также сократить время на установку и ввод оборудования в работу до одной рабочей смены, что в свою очередь избавило потребителей от продолжительных отключений на время выполнения работ. Телеуправление, телеизмерения и телесигнализация реклоузеров были интегрированы в существующую SCADA ОИК «Диспетчер» посредством GPRS-связи, а возможность дистанционного изменения уставок и алгоритмов работы оборудования была реализована на базе программного обеспечения, разработанного предприятием-изготовителем. В 2017 году в рамках реализации следующего этапа менее чем за месяц было установлено уже 16 аппаратов. [2]

На сегодняшний день можно констатировать фактическое уменьшение продолжительности отключений и времени на поиск и ликвидацию аварий, что привело к сокращению числа жалоб, поступающих от потребителей. Кроме этого, производственное отделение получило удобный и функциональный инструмент визуализации распределительной сети в SCADA системе, мониторинга величин значений тока, напряжений по фазам, энергии и других параметров. Существует возможность дистанционного произведения реконфигурации сети, выполнения анализа режимов работы до и после аварии. Впрочем, следует помнить, что система распределенной автоматизации воздушных сетей — лишь первый шаг на пути к целевой модели цифрового РЭС.

Далее следует развитие системы интеллектуального учета электрической энергии, позволяющей в реальном времени измерять показатели SAIDI, SAIFI, контролировать потери и недоотпуск электрической энергии. Финальным этапом должно стать внедрение системы поддержки принятия решений по управлению сетевой компанией, что уже потребует глобального изменения многих регламентов, действующих в электроэнергетике, а также ряд нововведений на законодательном уровне. Все это, в конечном итоге, позволит создать тиражируемую бизнес-модель сетевой компании нового технологического уклада, обеспечивающую надежность, качество, доступность и уровень потерь на уровне мировых лидеров при минимальной себестоимости владения. Предстоит решить вопрос с функциональностью программно-технического комплекса, также внедрить единый информационно-вычислительный комплекс, обеспечивающий потребности ПТК оперативно-технологического управления, основанного на стандартах CIM-модели. [3]

Литература

1. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Децентрализованное управление распределительными электрическими сетями 6-10 кВ АПК. Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты. Коллективная монография / под ред. И.В. Мирошниченко. УФА: АЭТЕРНА. 2017. С. 64-87.
2. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. М.: Наука, 2001.

3. Максимов Б.К., Воротницкий В.В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6(10) кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей // Электротехника. 2005. №10. С. 7-22.

УДК 621.3

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКИХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Науменко В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Системы электроснабжения (СЭС) сельскохозяйственного назначения обладают рядом конструктивных и эксплуатационных особенностей, заключающихся в том, что в их состав входят в основном радиальные распределительные электрические сети (РЭС), основу которых составляют преимущественно воздушные линии (ВЛ) напряжением 6-10 кВ, получающие электроэнергию от районных подстанций (ПС) 35-110/6-10 кВ. ПС распределены по большой территории и находятся далеко друг от друга и от диспетчерских пунктов (по сравнению с городскими и промышленными подстанциями). РЭС и отходящие воздушные линии в отличие от городских и промышленных (которые – преимущественно кабельные) в большей степени подвержены атмосферным воздействиям и повреждениям. В сельскохозяйственных районах РЭС нет возможности содержать крупные ремонтные подразделения. В этих условиях небольшая оперативная бригада электриков периодически обслуживает имеющееся сетевое и подстанционное электрооборудование СЭС. Высокий износ электрооборудования (свыше 70%), прогрессирующее сокращение квалифицированного технически грамотного оперативного и ремонтного электротехнического персонала также играют немаловажную роль. В большинстве случаев причинами отказов электрооборудования СЭС являются неправильные режимы эксплуатации (15–35%), недостатки эксплуатации (35–50%) и низкое качество проводимых ремонтов [1]. Низкая степень автоматизации СЭС утяжеляет аномальные и аварийные режимы, затягивает продолжительность послеаварийных режимов, снижая надежность электроснабжения, приводит к увеличению времени простоя электроустановок потребителей и существенному недоотпуску электроэнергии.

Учитывая рассмотренные особенности сельскохозяйственных СЭС, особое внимание следует обратить на оптимизацию нормальных, аварийных и послеаварийных режимов их работы на основе технического, технологического и экономического анализа подсистем СЭС, условий их проектирования и функционирования. Оптимизация режимов СЭС обеспечивает минимум приведенных затрат и достигается, в основном, выбором схемной конфигурации системы и выбором состава включенного в работу электрооборудования, а также совершенствованием и автоматизацией управления работы всей системы.

Оптимизация нормальных режимов СЭС на стадии проектирования конфигурации линий электропередачи (ЛЭП) РЭС 6-10 кВ по критерию минимума затрат на передачу и распределение электроэнергии осуществляется симплекс-методом линейного программирования [2]: на первом этапе ищется допустимое решение; на втором этапе это решение улучшается до оптимального.

При определении конфигурации РЭС используется математическая модель «транспортной задачи» [2]. При этом матрица системы ограничений транспортной задачи получается такой, что для ее решения требуются специальные методы: 1) получения схемы сети, отвечающей допустимому решению по критерию минимальной удельной стоимости; 2) оптимизации полученного допустимого схемного решения с помощью распределительного метода за счет перевода одной из базисных переменных в разряд свободных и одной из свободных переменных в разряд базисных. Для получения оптимальной схемы РЭС используется модификация распределительного метода – метод потенциалов, который освобождает проектировщика от необходимости создавать циклы и определять изменение целевой функции в каждом допустимом решении для каждой свободной переменной. Одним из действенных мероприятий по повышению эффективности и надежности СЭС является секционирование сетей. При этом возможна оптимизация вариантов технической реализации и управления секционированием РЭС.

Децентрализованное управление секционированием сетей [1] обеспечивает полную независимость работы коммутационных сетевых аппаратов от внешнего управления в послеаварийном режиме РЭС. Важным фактором для РЭС становится замена ручных и телемеханизированных линейных разъединителей коммутационными аппаратами со встроенной релейной защитой и сетевой автоматикой – реклоузерами [3].

Оптимизация выбора мест установки реклоузеров состоит из следующих этапов: определение назначения установки реклоузеров; выбор варианта применения (функции назначения); выбор критерия оптимизации установки; оптимизация мест установки [4]. Критерием является минимизация показателей, влияющих на надежность: суммарного годового недоотпуска электроэнергии; количества и длительности отключений потребителей.

Обеспечение эффективности и надежности режимов оптимального варианта РЭС связано с оптимизацией параметров секционирования.

При последовательном секционировании линии с односторонним питанием надежность потребителей отдельных участков не одинакова и тем выше, чем ближе секционированный участок, на котором находится потребитель, к центру питания (шинам 6-10 кВ ПС).

В схемах последовательного секционирования реклоузерами линии с двухсторонним питанием появление короткого замыкания (КЗ) на одном участке не влияет на надежность электроснабжения потребителей смежных участков.

Результаты расчета показателей надежности РЭС [1, 4] показывают, что при различных вариантах автоматического секционирования надежность электроснабжения конкретных потребителей изменяется не пропорционально изменению суммарного годового недоотпуска электрической энергии. В зависимости от выбранного критерия оптимизации следует придерживаться следующих подходов к выбору мест установки реклоузеров в сети:

а) для критерия суммарного годового недоотпуска электроэнергии в целях повышения надежности электроснабжения потребителей фидера в целом целесообразно разделить линию на отдельные участки путем установки

реклоузеров таким образом, чтобы произведения моментов (длины и нагрузки каждого участка) были примерно равны между собой (при минимизации протяженности линии и/или при увеличении числа секционированных участков РЭС);

б) для критерия количества и длительности отключений конкретного потребителя и адресного повышения надежности целесообразно устанавливать реклоузеры максимально приближенно к данному потребителю.

Проанализировав полученные результаты по определению оптимального места установки реклоузера [5], получены результаты, которые можно использовать в качестве практических рекомендаций:

- место установки реклоузера в РЭС существенно влияет на недоотпуск электроэнергии при перерывах электроснабжения, связанных с поиском и ликвидацией повреждения;
- при установке реклоузера перед точкой ответвления значение недоотпуска электроэнергии получается минимальным (в расчетах на 10,3% меньше), чем за ней. Следовательно, это и есть точка оптимальной установки реклоузера в равномерно загруженной радиальной линии;
- в радиальных сетях с неравномерной нагрузкой оптимальная точка установки реклоузера смещается к центру электрических нагрузок;
- годовое количество отключений в сети не зависит от места установки реклоузера;
- годовая длительность отключений потребителей (расчетная) при установке реклоузера в оптимальной точке минимальна и практически в 2 раза меньше, чем без использования реклоузера.

РЭС 6–10 кВ характеризуются существенным износом и высокой повреждаемостью, которая достигает десятков технических нарушений на 100 км в год, вызывая необходимость модернизации конструкции фидеров и их сетей, совершенствования средств регистрации, поиска и устранения аварийных режимов.

Наибольшее время для устранения аварийных режимов РЭС затрачивается на определение места (ОМП) и вида повреждения (ОВП). Многообразие видов и характеристик повреждений, сложность структуры и условий работы РЭС привело к разнообразию дистанционных и топологических методов ОМП [6].

Для выполнения требований по скорости и точности ОМП очевидно целесообразно применение двух методов ОМП – дистанционного и топографического. Сначала с помощью дистанционного метода ОМП определяется зона повреждения, а затем, используя топографический метод, устанавливается точное место повреждения.

Несмотря на большое количество существующих технических средств и приборов задача дистанционного ОМП при однофазных замыканиях на землю в ВЛ 6–10 кВ остается весьма актуальной. В сельских сетях 6–10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью распространены радиальные сети с односторонним питанием, поэтому определить место междуфазного КЗ, обрыва фазы или замыкания на землю точным методом двухстороннего замера

как в ЛЭП 110 кВ и выше с заземленной нейтралью, не представляется возможным.

Для повышения точности дистанционных методов и средств необходимы специальные подходы: использование данных от указателей, устанавливаемых на опорах ВЛ; передача данных от установленных указателей, фиксирующих параметры аварийных режимов, через передатчик (модем) по каналу связи с приемником диспетчерского пункта; использование бесконтактных локальных датчиков для установки в нескольких точках ЛЭП с целью повышения точности ОМП и ОВП; применение сигнализаторов и GSM-передатчиков, которые устанавливаются непосредственно на опорах ВЛ и служат для контроля режима и целостности провода [7]; создание системы комплексного управления нормальными, аварийными и послеаварийными режимами, включая средства мониторинга и диагностики по типу «Smart Grids» – «умных сетей».

Литература

1. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Децентрализованное управление распределительными электрическими сетями 6-10 кВ АПК. Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты. Коллективная монография / под ред. И.В. Мирошниченко. УФА: АЭТЕРНА. 2017. С. 64-87.
2. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. М.: Наука, 2001.
3. Максимов Б.К., Воротницкий В.В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6(10) кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей // Электротехника. 2005. №10. С. 7-22.
4. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Показатели надежности электрической сети 6-10 кВ с реклоузерным секционированием. Научно-практические проблемы и направления их решения в области высоких технологий: сборник статей международной научно-практической конференции. АЭТЕРНА, 2017. С. 129-135.
5. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоиздат. 1982. 312 с.
6. Шилин А.А., Артюшенко Н.С., Дементьев С.С. «Умные» опоры воздушных линии электропередачи // III Российская молодежная научная школа-конференция «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи». Нац. исслед. Томский политехн. ун-т. Томск. 2015. С. 235-239.
7. Чичёв С.И., Глинкин Е.И. Технология «Smart Power Grid» («Умные электрические сети») // Энергобезопасность и энергоснабжение, 2010. № 6 (36). 2010. С. 27-31.

УДК 621.3

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ НАЛИЧИИ
НЕСКОЛЬКИХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИЛ В ПРОЛЁТЕ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Определение стрел провеса и тяжений в различных климатических режимах является задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий. Проектирование распределительных устройств с уменьшенными габаритами и компактных воздушных линий является проблемой современной электроэнергетики. Это увеличивает требования к их расчету, обеспечению в любой точке пролета необходимых по Правилам устройства электроустановок минимальных расстояний до различных объектов при различных видах нагрузок, взятых при проектировании (ветер, гололёд и др.). В механическом расчете гибких проводов распределенной по пролету нагрузкой заменяются сосредоточенные нагрузки от распорок, гирлянд изоляторов, заградительных шаров, шлейфов, отпаяк к электрическим аппаратам и других элементов [1].

Провод с равномерно распределенной нагрузкой в приближенных методах рассматривается как однородная гибкая нить, имеющая внешний вид параболы. Расчет этой нити выполняется по уравнению состояния, вывод которого определяется из сравнения длин нити при разном нагружении и разных климатических условиях [1].

Провод с несколькими разными видами нагрузок должен быть рассмотрен как комбинированная, то есть неоднородная гибкая нить, не являющаяся плавной параболой по всему пролету. Плавность параболы нарушается и в местах приложения равномерно распределенных нагрузок различной интенсивности, и в местах примыкания сосредоточенных сил. При одновременном действии разных нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях (поперечном горизонтальном и вертикальном) получается более сложный вид кривой провисания провода. В этих случаях длина неоднородной нити должна быть определена в виде суммы длин разных участков, на которых сохраняется вид параболы (или сохраняется, допустим, при нагрузке от действия ветра).

По методике [1] уравнение состояния провода ничем не отличается от обычного уравнения состояния, по которому рассчитываются провода воздушных линий с равномерно распределенными нагрузками. Чтобы уравнение можно было применить для неоднородной нити, ее заменяют эквивалентной однородной нитью, что производится путем введения эквивалентной равномерно распределенной нагрузки по длине пролета. Эквивалентная нагрузка устанавливается из условия равенства длины однородной нити с равномерно распределенной эквивалентной нагрузкой длине комбинированной нити с распределенными нагрузками разной интенсивности и обобщенно длине нити со сосредоточенными нагрузками разной величины, приложенными в различных местах пролета.

Длина неоднородной (комбинированной) нити определяется путем интегрирования дифференциального уравнения нити по участкам. Для перехода от неоднородной нити к эквивалентной однородной при любой схеме загрузки пролета определяется переходный коэффициент K , называемый коэффициентом нагрузки. Приведенная нагрузка вычисляется как произведение величины равномерно распределенной нагрузки для данного пролета на коэффициент нагрузки[2].

Пусть в пролете действуют n сосредоточенных сил. Тогда опорные балочные реакции определяются по формулам:

$$A = \frac{ql}{2} + (q_{r1} - q)l_{r1} + \frac{qc - d}{2l} + \frac{\sum_{i=1}^n P_i b_i}{l};$$

$$B = \frac{ql}{2} + (q_{r2} - q)l_{r2} - \frac{qc - d}{2l} + \frac{\sum_{i=1}^n P_i a_i}{l},$$

где l – длина пролета;

q – погонный вес провода;

q_{r1}, q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд изоляторов (с учетом возможного многоцепного исполнения, а также арматуры, зажимов, коромысел, ушек, скоб, серег, промежуточных звеньев и узлов крепления);

l_{r1}, l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов;

P_i – вес i -ой сосредоточенной нагрузки;

a_i, b_i – расстояния до i -ой сосредоточенной силы P_i от опор А и В.

Для построения зависимости стрелы провеса от координаты x определим $y(x)$ на всех участках:

$$y_1(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - \frac{q_{r1} x^2}{2} \right] \text{ при } 0 \leq x \leq l_{r1};$$

$$y_2(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} \right] \text{ при } l_{r1} < x \leq a_1;$$

$$y_3(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} - P_1(x - a_1) \right] \text{ при } a_1 < x \leq a_2;$$

...

$$y_{k+2}(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} - \sum_{i=1}^k P_i(x - a_i) \right] \text{ при } a_k < x \leq a_{k+1} \quad (k = 2 \dots n-1);$$

...

$$y_{n+2}(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} - \sum_{i=1}^n P_i(x - a_i) \right] \text{ при } a_n < x \leq l - l_{r2};$$

$$y_{n+3}(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - ql_1 \left(x - l_{r1} - \frac{l_1}{2} \right) - q_{r2} \frac{(x - l + l_{r2})^2}{2} - \sum_{i=1}^n P_i(x - a_i) \right]$$

при $l - l_{r2} < x \leq l$,

где x, y – координаты провода;

Для случаев расположения максимальной стрелы провеса на разных участках расстояние до нее рассчитывается по формулам:

$$x_0 = \frac{A}{q_{r1}} \text{ при } 0 \leq x_0 \leq l_{r1};$$

$$x_0 = \frac{A - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } l_{r1} < x_0 \leq a;$$

$$x_0 = \frac{A - P_1 - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } a_1 < x_0 \leq a_2;$$

...

$$x_0 = \frac{A - \sum_{i=1}^k P_i - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } a_k < x_0 \leq a_{k+1} \text{ (} k = 2 \dots n-1 \text{);}$$

...

$$x_0 = \frac{A - \sum_{i=1}^n P_i - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } a_n < x_0 \leq l - l_{r2};$$

$$x_0 = \frac{A - \sum_{i=1}^n P_i - ql_1 - q_{r1}l_{r1}}{q_{r2}} + l - l_{r2} \text{ при } l - l_{r2} < x_0 \leq l.$$

Если не выполняются эти неравенства, то максимальная стрела провеса будет находиться в точке приложения одной из сосредоточенных сил $x_0 = a_i$, дающей $f_0 = \max [y(a_i)]$. На рисунке 16б $x_0 = a_2$.

Расчет коэффициента нагрузки при наличии нескольких сосредоточенных сил.

Длина эквивалентного провода (системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов») определяется [1]

$$L = l + \frac{q^2 l^2 l_1 K^2}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2}, \quad (1)$$

где K – коэффициент нагрузки, учитывающий конструктивные элементы для различных климатических нагрузок: $K^2 = \frac{12D}{q^2 l^2 l_1}$,

Интеграл D для формулы (1) определяется как

$$D = \int_0^{l_{r1}} Q_1^2(x) dx + \int_{l_{r1}}^{a_1} Q_2^2(x) dx + \int_{a_1}^{a_2} Q_3^2(x) dx + \dots + \int_{a_k}^{a_{k+1}} Q_{k+2}^2(x) dx + \dots + \int_{a_n}^{l-l_{r2}} Q_{n+2}^2(x) dx + \int_{l-l_{r2}}^l Q_{n+3}^2(x) dx$$

$$(k = 2 \dots n-1),$$

где $Q_1(x) - Q_{n+3}(x)$ – балочные поперечные силы соответственно на первой гирлянде, участках провода и второй гирлянде:

$$Q_1(x) = A - q_{r1}x;$$

$$Q_2(x) = A - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1});$$

$$Q_3(x) = A - P_1 - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1});$$

$$\dots$$

$$Q_{k+2}(x) = A - \sum_{i=1}^k P_i - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1});$$

$$\dots$$

$$Q_{n+2}(x) = A - \sum_{i=1}^n P_i - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1});$$

$$Q_{n+3}(x) = A - \sum_{i=1}^n P_i - q_{r1}l_{r1} - ql_1 - q_{r2}(x - l + l_{r2}).$$

Оценка коэффициента увеличения стрелы провеса.

В [3] было получено выражение для определения коэффициента увеличения стрелы провеса. После учета разных гирлянд изоляторов в пролете его можно записать как

$$K_f = \frac{1 + 2\delta_1 + 2\delta_2 + (\delta_1 - \delta_2)^2 + K_p(1 + 1/n)}{\cos \theta}, \tag{2}$$

где $\delta_1 = (K_{B1} - 1)K_{r1}^2$; $\delta_2 = (K_{B2} - 1)K_{r2}^2$ – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов;

$K_{B1} = \frac{q_{r1}}{q}$; $K_{B2} = \frac{q_{r2}}{q}$ – кратности веса первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно веса провода;

$K_{r1} = \frac{l_{r1} \cos \theta}{l}$; $K_{r2} = \frac{l_{r2} \cos \theta}{l}$ – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета;

$K_p = \frac{P \cos \theta}{ql}$ - коэффициент сосредоточенных сил;

$P = \sum_{i=1}^n P_i$ – суммарный вес n сосредоточенных нагрузок

Выражение (2) было получено для симметричного расположения сосредоточенных сил, равномерно распределенных вдоль пролета [3], дает хороший результат при отсутствии сосредоточенной нагрузки в случае разных гирлянд изоляторов в пролете. В общем же случае может служить оценкой максимальной стрелы провеса. Рассмотрим это на примерах (рисунок 1 и 2).

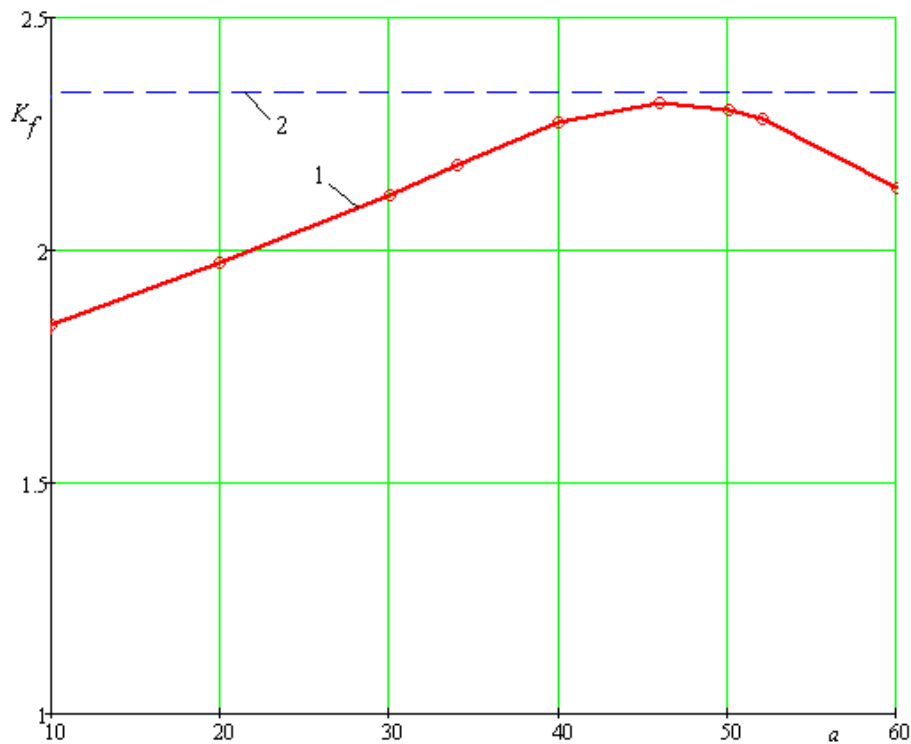


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента увеличения стрелы провеса от расстояния до сосредоточенной силы для данных рисунка 16а: 1 – зависимость $K_f(a)$; 2 – расчет по (2) для $n = 1$

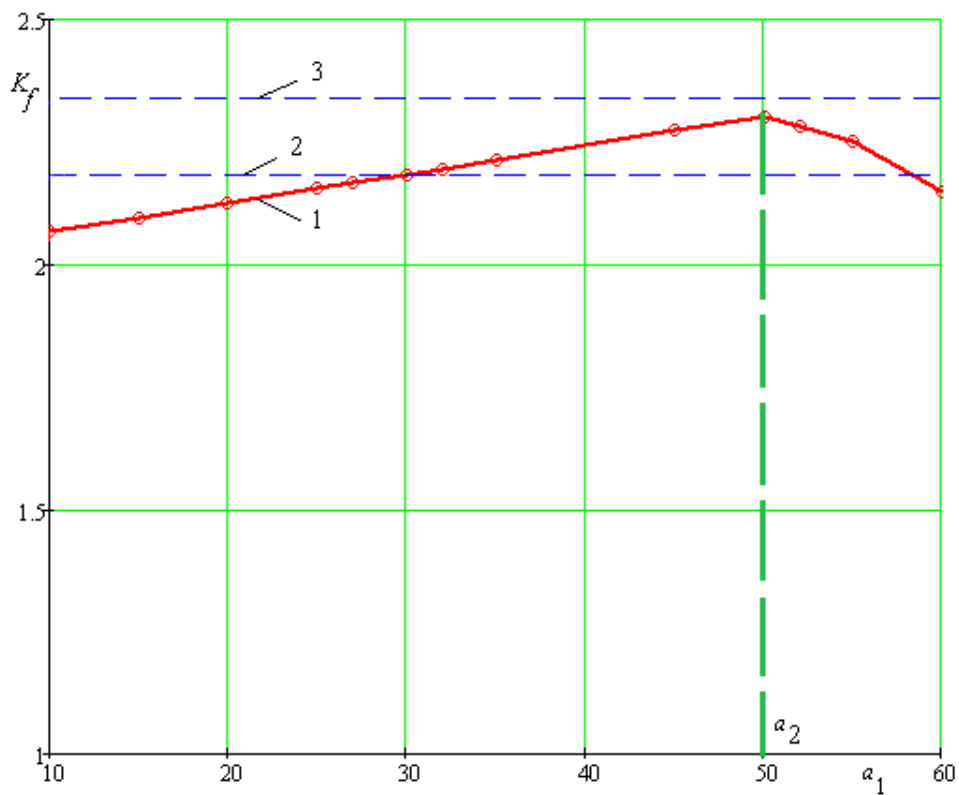


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента увеличения стрелы провеса от расстояния до первой сосредоточенной силы a_1 для данных рисунка 16 с двумя сосредоточенными силами $P_1 = P_2 = 50$ даН на расстоянии $a_2 = 50$ м: 1 – зависимость $K_f(a_1)$; 2 – расчет по (2) для $n = 2$; 3 – расчет по (2) для $n = 1$

Как видно из рисунка 1, коэффициент увеличения стрелы провеса зависит от расстояния до сосредоточенной силы, а выражение (2) является асимптотой зависимости $K_f(a)$. Рисунок 2 показывает, что при равномерной расстановке сосредоточенных сил вдоль пролета оценить увеличение стрелы провеса можно выражением (2). При совпадении точек приложения сил $a_1 = a_2$ кривая $K_f(a_1)$ приближается к асимптоте при $n = 1$.

Литература

1. Бошнякович, А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / А. Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1975. 248 с.
2. Качурин, В. К. Гибкие нити с малыми стрелками / В. К. Качурин. М.: Гостехиздат, 1956. 224 с.
3. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенных сил распределенной нагрузкой / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 2. С. 97-107.

УДК 621.315.176

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ СТРЕЛ ПРОВЕСА ПРИ НАЛИЧИИ ОДНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ В ПРОЛЁТЕ

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

По данным ГПО «Белэнерго» протяженность воздушных линий (ВЛ) электропередач различного напряжения в Республике Беларусь на 2020 год равно 239,03 тыс. км, что составляет примерно 85,5% от общего количества линий электропередач в стране. По номинальному напряжению преобладают ЛЭП напряжением 0,4-10 кВ – 202,22 тыс. км. Для того, чтобы создать такое количество воздушных линий электропередач учёные и проектировщики не раз воспользовались механическим расчётом гибких проводов воздушных линий.

Задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств (РУ) и воздушных линий (ВЛ) является определение стрел провеса и тяжений в различных режимах климатических воздействий. Актуальной проблемой современной электроэнергетики является проектирование РУ с уменьшенными габаритами и компактных ВЛ, что повышает требования к их расчету, обеспечению в любой точке пролета требующихся по ПУЭ минимальных расстояний до различных объектов при всех возможных видах нагрузок, принятых при проектировании (гололед, ветер и др.). В механическом расчете гибких проводов сосредоточенные нагрузки от распорок, заградительных шаров, гирлянд изоляторов, шлейфов, отпаек к электрическим аппаратам и других элементов заменяются распределенной по пролету [1].

В приближенных методах провод с равномерно распределенной нагрузкой обычно рассматривается как однородная гибкая нить, имеющая очертание параболы. Расчет такой нити производится по уравнению состояния, вывод которого основан на сравнении длин нити при разных климатических условиях и разном нагружении [1].

Провод с несколькими различными видами нагрузок должен рассматриваться как комбинированная, т. е. неоднородная гибкая нить, не имеющая плавного очертания параболы по всей длине пролета. Плавность очертания нарушается как в местах примыкания равномерно распределенных нагрузок разной интенсивности, так и в местах приложения сосредоточенных сил. Еще более сложное очертание кривой провисания провода получается при одновременном действии различных нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях — вертикальном и поперечном горизонтальном. Во всех таких случаях длина неоднородной нити должна определяться как сумма длин отдельных участков, на которых сохраняется очертание параболы (или условно сохраняется, например, при нагрузке от действия ветра).

По методике [1] уравнение состояния провода ничем не отличается от обычного уравнения состояния, по которому рассчитываются провода воздушных линий с равномерно распределенными нагрузками. Чтобы уравнение

можно было применить для неоднородной нити, ее заменяют эквивалентной однородной нитью, что производится путем введения эквивалентной равно распределенной нагрузки по длине пролета. Эквивалентная нагрузка устанавливается из условия равенства длины однородной нити с равномерно распределенной эквивалентной нагрузкой длине комбинированной нити с распределенными нагрузками разной интенсивности и обобщенно длине нити со сосредоточенными нагрузками разной величины, приложенными в различных местах пролета.

Длина неоднородной (комбинированной) нити определяется путем интегрирования дифференциального уравнения нити по участкам. Для перехода от неоднородной нити к эквивалентной однородной при любой схеме загрузки пролета определяется переходный коэффициент K , называемый коэффициентом нагрузки. Приведенная нагрузка вычисляется как произведение величины равномерно распределенной нагрузки для данного провода на коэффициент нагрузки [2].

На рисунке 1 показана расчетная схема пролета при наличии сосредоточенной силы.

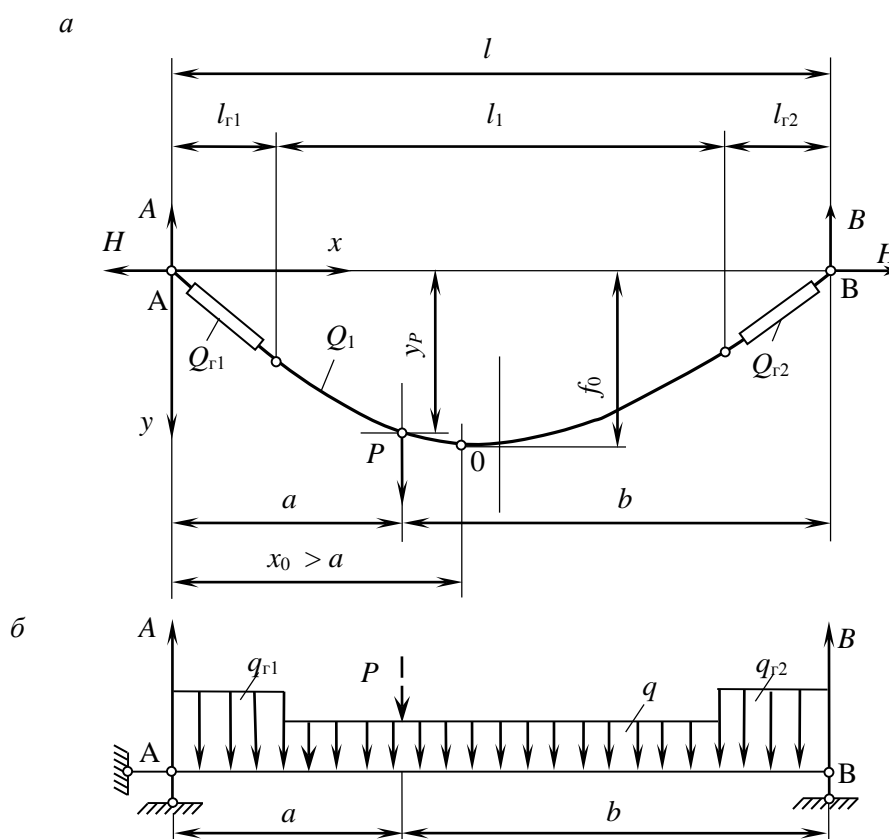


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета:

а) пролет с вертикальными нагрузками от провода q , гирлянд изоляторов q_{r1} , q_{r2} и сосредоточенной силой P ; б) пролет в виде простой разрезной балки с шарнирными опорами, загруженной так же

В [3] приведены формулы для расчета максимальных стрел провеса при одинаковых гирляндах изоляторов и симметричном расположении

сосредоточенных сил вдоль пролета. В этом случае максимум провеса приходится на середину пролета.

Рассмотрим случай, когда в пролете действует одна сосредоточенная сила. В общем случае стрелы провеса определяются на основании формулы:

$$y = \frac{M(x)}{H}.$$

где $M(x)$ – переменная величина балочного изгибающего момента в зависимости от абсциссы x ,

где x, y – координаты провода.

Опорные балочные реакции определяются согласно рисунку 1 по формулам:

$$A = \frac{ql}{2} + (q_{r1} - q)l_{r1} + \frac{qc - d}{2l} + \frac{Pb}{l};$$

$$B = \frac{ql}{2} + (q_{r2} - q)l_{r2} - \frac{qc - d}{2l} + \frac{Pa}{l},$$

где $c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2$; $d = q_{r1}l_{r1}^2 - q_{r2}l_{r2}^2$;

где A, B – опорные балочные реакции;

q – погонный вес провода (для расщепленных проводов – погонный вес фазы);

q_{r1}, q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд изоляторов (с учетом возможного многоцепного исполнения, а также арматуры, зажимов, коромысел, ушек, скоб, серег, промежуточных звеньев и узлов крепления);

l – длина пролета;

l_{r1}, l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов;

P – вес сосредоточенной нагрузки;

a, b – расстояния до сосредоточенной силы P от опор A и B .

Для построения зависимости стрелы провеса от координаты x определим $y(x)$ на всех участках:

$$y_1(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - \frac{q_{r1}x^2}{2} \right] \text{ при } 0 \leq x \leq l_{r1}; \quad (1)$$

$$y_2(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} \right] \text{ при } l_{r1} < x \leq a; \quad (2)$$

$$y_3(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - \frac{q(x - l_{r1})^2}{2} - P(x - a) \right] \text{ при } a < x \leq l - l_{r2}; \quad (3)$$

$$y_4(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{l_{r1}}{2} \right) - q l_1 \left(x - l_{r1} - \frac{l_1}{2} \right) - q_{r2} \frac{(x - l + l_{r2})^2}{2} - P(x - a) \right]$$

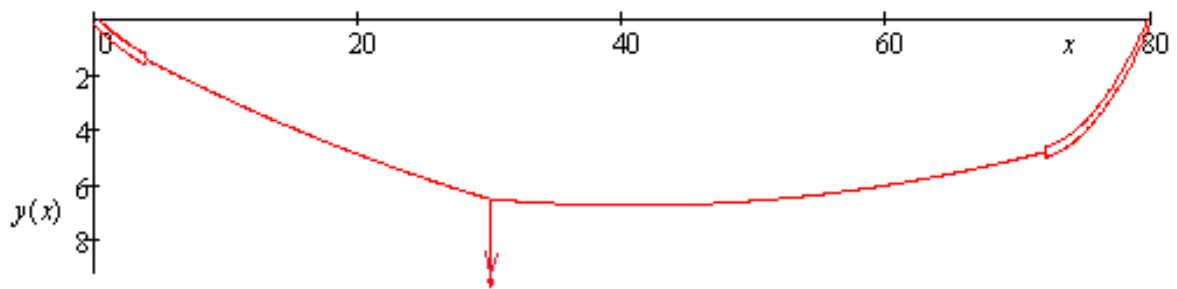
при $l - l_{r2} < x \leq l$,

(4)

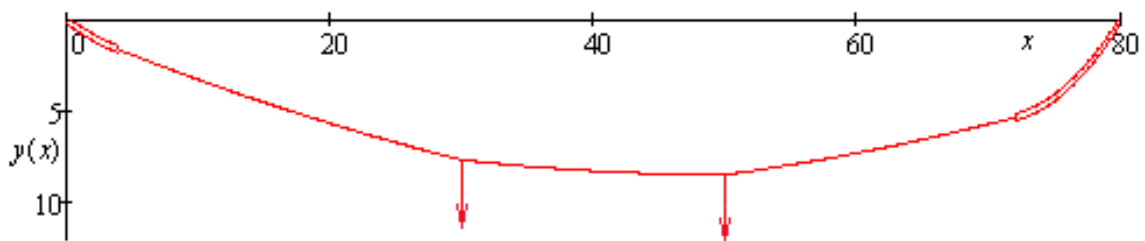
где $l_1 = l - l_{r1} - l_{r2}$ – длина провода без учета провеса.

По выражениям (1) – (4) строится кривая провеса провода (рисунок2а).

а



б



в

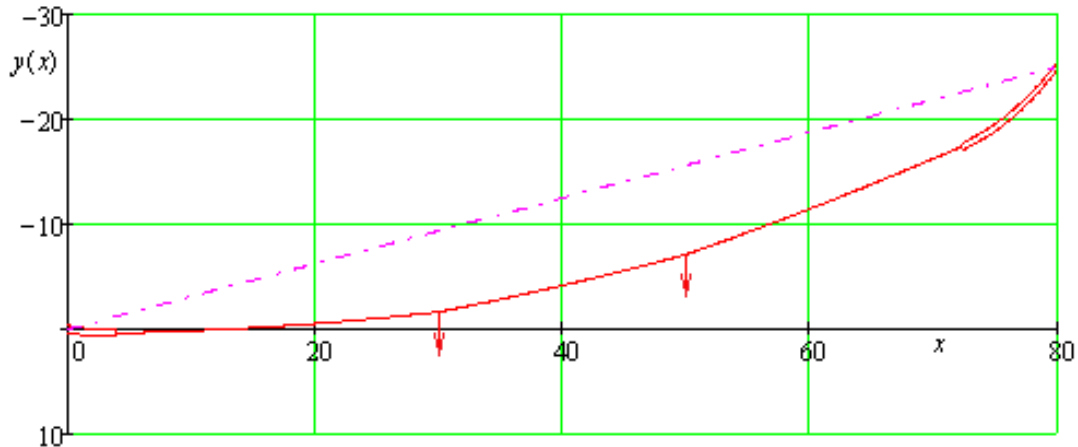


Рисунок 2 – Кривые провисания провода весом $q = 4$ даН/м в пролете длиной $l = 80$ м с разными гирляндами изоляторов

($l_{r1} = 4$ м, $q_{r1} = 60$ даН/м, $l_{r2} = 6$ м, $q_{r2} = 120$ даН/м):

а) с одной сосредоточенной силой $P = 100$ даН на расстоянии $a = 30$ м;

б) с двумя сосредоточенными силами $P_1 = P_2 = 100$ даН на расстоянии $a_1 = 30$ м, $a_2 = 50$ м;

в) то же, в наклонном пролете с разностью высот подвеса $h = 25$ м

Максимальная стрела провеса находится решением уравнения

$$\frac{dy(x)}{dx} = 0,$$

которое дает расстояние x_0 от начала пролета до этой точки:

Для случаев расположения максимальной стрелы провеса на разных участках расстояние до нее рассчитывается по формулам:

$$x_0 = \frac{A}{q_{r1}} \text{ при } 0 \leq x_0 \leq l_{r1}; \quad (5)$$

$$x_0 = \frac{A - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } l_{r1} < x_0 \leq a \quad (6)$$

$$x_0 = \frac{A - P - q_{r1}l_{r1}}{q} + l_{r1} \text{ при } a < x_0 \leq l - l_{r2}; \quad (7)$$

$$x_0 = \frac{A - P - ql_1 - q_{r1}l_{r1}}{q_{r2}} + l - l_{r2} \text{ при } l - l_{r2} < x_0 \leq l. \quad (8)$$

При невыполнении этих неравенств максимальная стрела провеса будет находиться в точке приложения сосредоточенной силы $x_0 = a$.

Рассмотрим случай расположения максимальной стрелы провеса на проводе (см. рисунок1) при $a < x_0 \leq l - l_{r2}$ (рисунок1а), тогда

$$f_0 = y(x_0) = \frac{1}{H} \left[\frac{(A - P)^2}{2q} - \left(A - P - \frac{q_{r1}l_{r1}}{2} \right) \left(\frac{q_{r1}}{q} - 1 \right) l_{r1} + Pa \right].$$

Коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием натяжных гирлянд и сосредоточенной силы, определяется по выражению:

$$K_f = \frac{8Hf_0}{ql^2}.$$

Полученные выражения (1) – (8) могут применяться и для горизонтальных ветровых нагрузок, а результирующая стрела провеса в наклонной плоскости рассчитывается после нахождения составляющих в обеих плоскостях [3].

Литература

1. Бошнякович, А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / А. Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1975. 248 с.
2. Качурин, В. К. Гибкие нити с малыми стрелками / В. К. Качурин. М.: Гостехиздат, 1956. 224 с.
3. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенных сил распределенной нагрузкой / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 2. С. 97-107.

УДК 621.315.176

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ
КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ ПРИ ОТСУТСТВИИ
СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИЛ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Определение стрел провеса и тяжений в различных климатических режимах является задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий. Проектирование распределительных устройств с уменьшенными габаритами и компактных воздушных линий является проблемой современной электроэнергетики. Это увеличивает требования к их расчету, обеспечению в любой точке пролета необходимых по Правилам устройства электроустановок минимальных расстояний до различных объектов при различных видах нагрузок, взятых при проектировании (ветер, гололёд и др.). В механическом расчете гибких проводов распределенной по пролету нагрузкой заменяются сосредоточенные нагрузки от распорок, гирлянд изоляторов, заградительных шаров, шлейфов, отпаек к электрическим аппаратам и других элементов [1].

Провод с равномерно распределенной нагрузкой в приближенных методах рассматривается как однородная гибкая нить, имеющая внешний вид параболы. Расчет этой нити выполняется по уравнению состояния, вывод которого определяется из сравнения длин нити при разном нагружении и разных климатических условиях [1].

Провод с несколькими разными видами нагрузок должен быть рассмотрен как комбинированная, то есть неоднородная гибкая нить, не являющаяся плавной параболой по всему пролету. Плавность параболы нарушается и в местах приложения равномерно распределенных нагрузок различной интенсивности, и в местах примыкания сосредоточенных сил. При одновременном действии разных нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях (поперечном горизонтальном и вертикальном) получается более сложный вид кривой провисания провода. В этих случаях длина неоднородной нити должна быть определена в виде суммы длин разных участков, на которых сохраняется вид параболы (или сохраняется, допустим, при нагрузке от действия ветра).

По методике [1] уравнение состояния провода ничем не отличается от обычного уравнения состояния, по которому рассчитываются провода воздушных линий с равномерно распределенными нагрузками.

Чтобы уравнение можно было применить для неоднородной нити, ее заменяют эквивалентной однородной нитью, что производится путем введения эквивалентной равно распределенной нагрузки по длине пролета. Эквивалентная нагрузка устанавливается из условия равенства длины однородной нити с равномерно распределенной эквивалентной нагрузкой длине комбинированной нити с распределенными нагрузками разной интенсивности и обобщенно длине нити со сосредоточенными нагрузками разной величины, приложенными в различных местах пролета.

С помощью интегрирования дифференциального уравнения нити по участкам определяется длина комбинированной нити. Переходный коэффициент K (коэффициент нагрузки) устанавливается для перехода от комбинированной нити к приведенной однородной при всякой схеме загрузки пролета. Эквивалентная нагрузка определяется как произведение равномерно распределенной нагрузки для этого провода на коэффициент нагрузки.

Длина эквивалентного провода (системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов») определяется [1]

$$L = l + \frac{q^2 l^2 l_1 K^2}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2},$$

l - длина пролета;

H - тяжение в проводе (горизонтальная составляющая);

q - погонный вес проводов фазы (если фаза не имеет расщепления, то просто вес 1 м провода);

где K - коэффициент нагрузки, учитывающий конструктивные элементы для различных климатических нагрузок

$$K^2 = \frac{12D}{q^2 l^2 l_1},$$

D – интеграл

$$D = \int_0^l Q^2(x) dx;$$

$Q(x)$ – балочная поперечная сила;

x, y – координаты провода.

Для рисунка 1 интеграл D определяется как

$$D = \int_0^{l_{r1}} Q_1^2(x) dx + \int_{l_{r1}}^{l-l_{r2}} Q_2^2(x) dx + \int_{l-l_{r2}}^l Q_3^2(x) dx$$

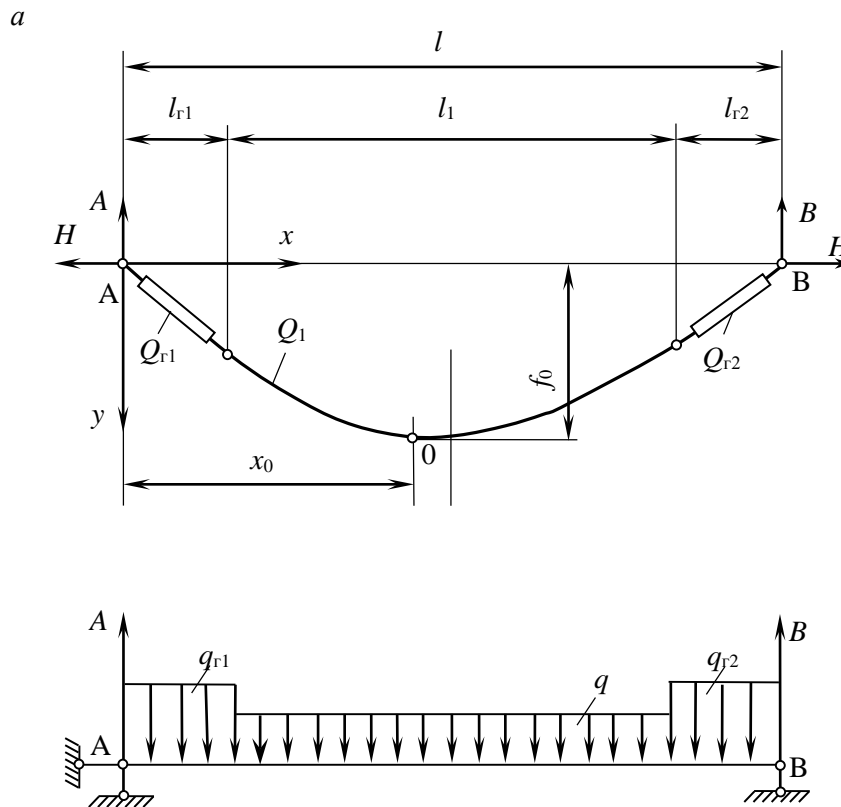


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета:

- а) пролет с нагрузками от провода q , гирлянд изоляторов q_{r1} и q_{r2} ;
- б) пролет в виде простой балки с шарнирными опорами, загруженной так же

где $Q_1(x)$, $Q_2(x)$, $Q_3(x)$ – балочные поперечные силы соответственно на первой гирлянде, проводе и второй гирлянде:

$$\begin{aligned}
 Q_1(x) &= A - q_{r1}x; \\
 Q_2(x) &= A - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1}); \\
 Q_3(x) &= A - q_{r1}l_{r1} - q(l - l_{r1} - l_{r2}) - q_{r2}(x - l + l_{r2}).
 \end{aligned}$$

l_{r1} , l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

где A – опорная балочная реакция;

Окончательно получаем коэффициент нагрузки при разных гирляндах

$$\begin{aligned}
 K^2 = \frac{1}{l_1} \left[l + \frac{8(l_{r1}^3 + l_{r2}^3)}{l^2} - \frac{6(l_{r1}^2 + l_{r2}^2)}{l} - \frac{3c^2}{l^3} \right] + \frac{6}{ql^2 l_1} \left[q_{r1} l_{r1}^2 (l - 2l_{r1}) + q_{r2} l_{r2}^2 (l - 2l_{r2}) + \frac{cd}{l} \right] + \\
 + \frac{1}{q^2 l^2 l_1} \left[4q_{r1}^2 l_{r1}^3 + 4q_{r2}^2 l_{r2}^3 - \frac{3d^2}{l} \right]. \tag{1}
 \end{aligned}$$

где $c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2$; $d = q_{r1} l_{r1}^2 - q_{r2} l_{r2}^2$.

Коэффициент нагрузки при одинаковых гирляндах ($q_{г1} = q_{г2} = q_{г}$; $l_{г1} = l_{г2} = l_{г}$) совпадает с формулой [1]

$$K^2 = \frac{l_1(l + 4l_{г})}{l^2} + \frac{12q_{г}l_{г}^2}{q^2l^2l_1} \left(ql_1 + \frac{2}{3}q_{г}l_{г} \right)$$

При отсутствии гирлянд в пролете ($l_{г1} = l_{г2} = 0$) коэффициент нагрузки $K = 1$.

Полученные коэффициенты позволяют определить для всех режимов эквивалентные погонные и удельные нагрузки, после чего составляется уравнение состояния, позволяющее определить напряжение в проводе в любом режиме нагрузок, в том числе климатических. При этом учитываются упругие и температурные удлинения провода на длине l [2]. Полученное выражение (1) может применяться и для горизонтальных ветровых нагрузок, тогда уравнение состояния должно учитывать эту составляющую при расчете результирующей приведенной нагрузки на провод в наклонной плоскости [3].

Литература

1. Бошнякович, А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / А. Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1975. 248 с.
2. Качурин, В. К. Гибкие нити с малыми стрелками / В. К. Качурин. М.: Гостехиздат, 1956. 224 с.
3. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенных сил распределенной нагрузкой / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 2. С. 97-107.

УДК 620.92

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ПРОГРАММА ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
НАПРЯЖЕНИЕМ 0.4 И 10 КВ SMARTLINE**

Николаев Н.М., Бурдин Д.А.

Научный руководитель – ассистент Ханевская В.А.

На смену черчения вручную пришла автоматизированная система проектирования САПР. Система автоматизированного проектирования, или сокращённо САПР, – совокупность технологий автоматизации проектирования и ведения документации.

Развитие систем САПР определяет высокий уровень использования техники вычисления в деятельности проектных организаций, таким образом, повышается уровень самого процесса проектирования. В современном мире программы САПР применяются практически во всех отраслях производства. К основным целям программ САПР можно отнести:

- повышения качества проектирования;
- повышения эффективности труда;
- снижения материальных средств на процесс проектирования;
- снижения время на процесс проектирования.

Системы автоматизированного проектирования можно классифицировать следующим образом:

- САПР деталей;
- САПР техпроцессов.

Группы САПР по приложениям:

- САПР применяемые в области машиностроения. Им принадлежит аббревиатура MCAD (Mechanical CAD);
- САПР в сфере строительства и архитектуры;
- САПР в электронике: Electronic Design Automation.

Одна из основных программ проектирования является AutoCAD.

AutoCAD — это программа, которая используется инженерами и специалистами разных профилей: архитекторами, конструкторами, строителями для создания точных 2D и 3D чертежей.

Одним из модулей, который расширяет стандартные возможности проектирования программы AutoCAD, является программа SmartLine.

SmartLine — это бесплатный инструмент, который позволяет проектировать воздушные линии электропередач 0.4 и 10 кВ.

Основные возможности программы SmartLine:

- Автоматизация создания спецификации высоковольтных линий 0.4 и 10кВ;
- Формирование поопорных спецификаций;
- Расчет пересечений с инженерными сооружениями.

Принцип работы программы SmartLine (Рисунок 1):

1. На местность инструментами (полилинии, отрезки) наносится трасса

воздушной линии электропередачи;

2. Далее добавляем опоры перетаскивая готовые элементы с палитры «ЛЭП-0.4(10) кВ, находится во вкладке «Добавить»;

3. Размещение ответвлений под узлы заземления или вводы(выводы) происходит аналогичным способом;

4. Каждая опора является отдельным блоком, к которому прикреплена спецификация;

5. Во вкладке «Свойства» можно просмотреть и отредактировать спецификацию любой опоры на чертеже.

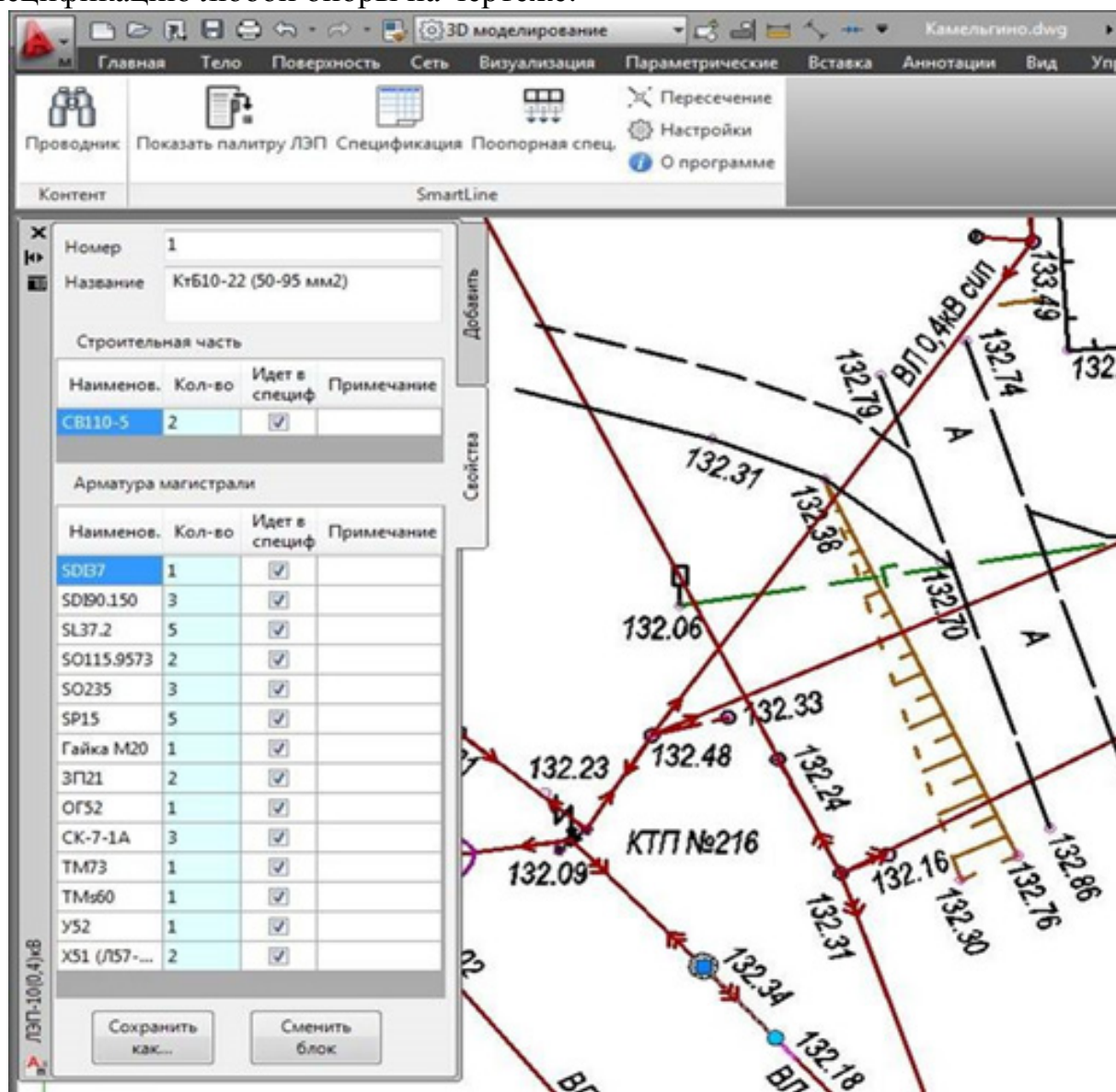


Рисунок 1 – Интерфейс программы SmartLine

Чтобы составить спецификацию, достаточно выделить нужную область чертежа и нажать на кнопку «спецификация» на панели управления (Рисунок 2).

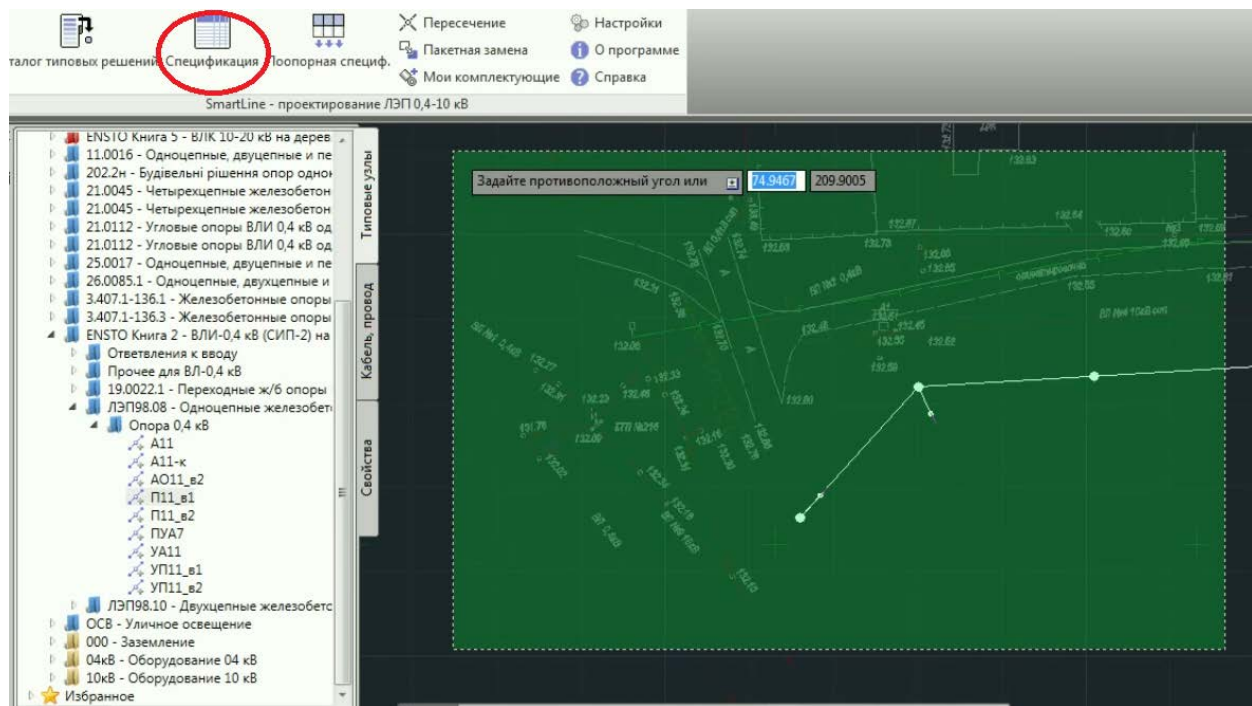


Рисунок 2 – Выделение участка высоковольтных линий для создания спецификации

После создания спецификации её можно экспортировать в текстовый документ, таблицу Excel либо на чертёж, указывая точку вставки таблицы (Рисунок 3).

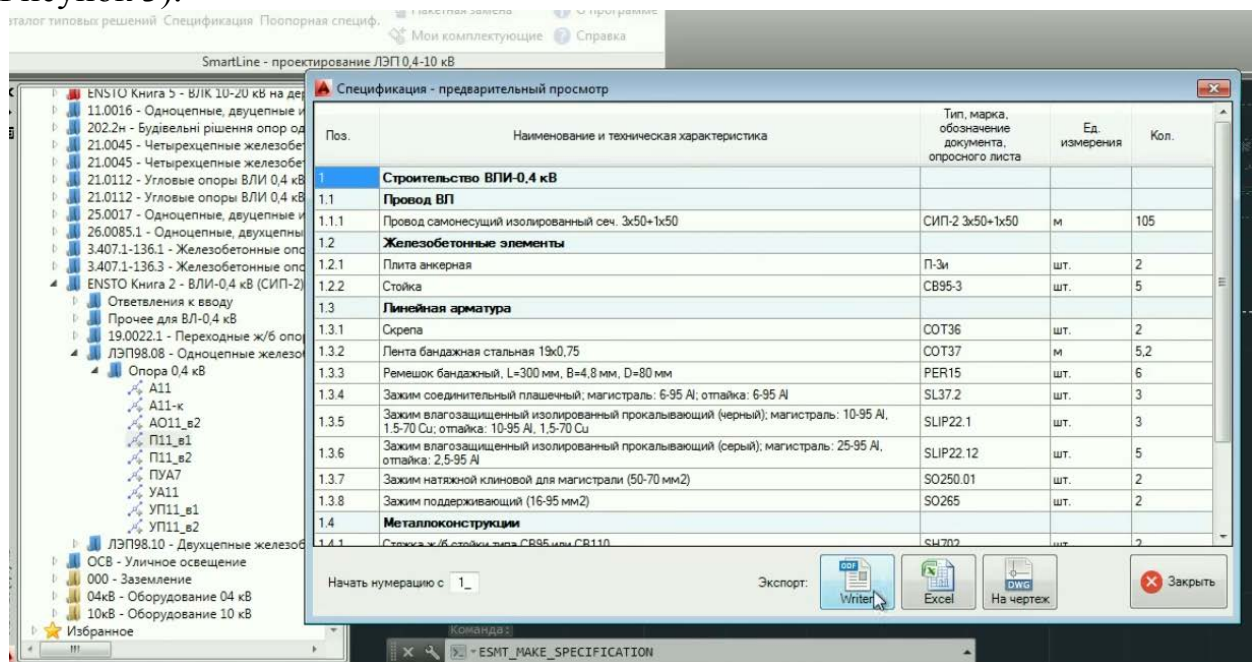


Рисунок 3 – Этап создания спецификации

Также программа SmartLine может производить расчет пересечений высоковольтных линий с инженерными сооружениями (Рисунок 4).

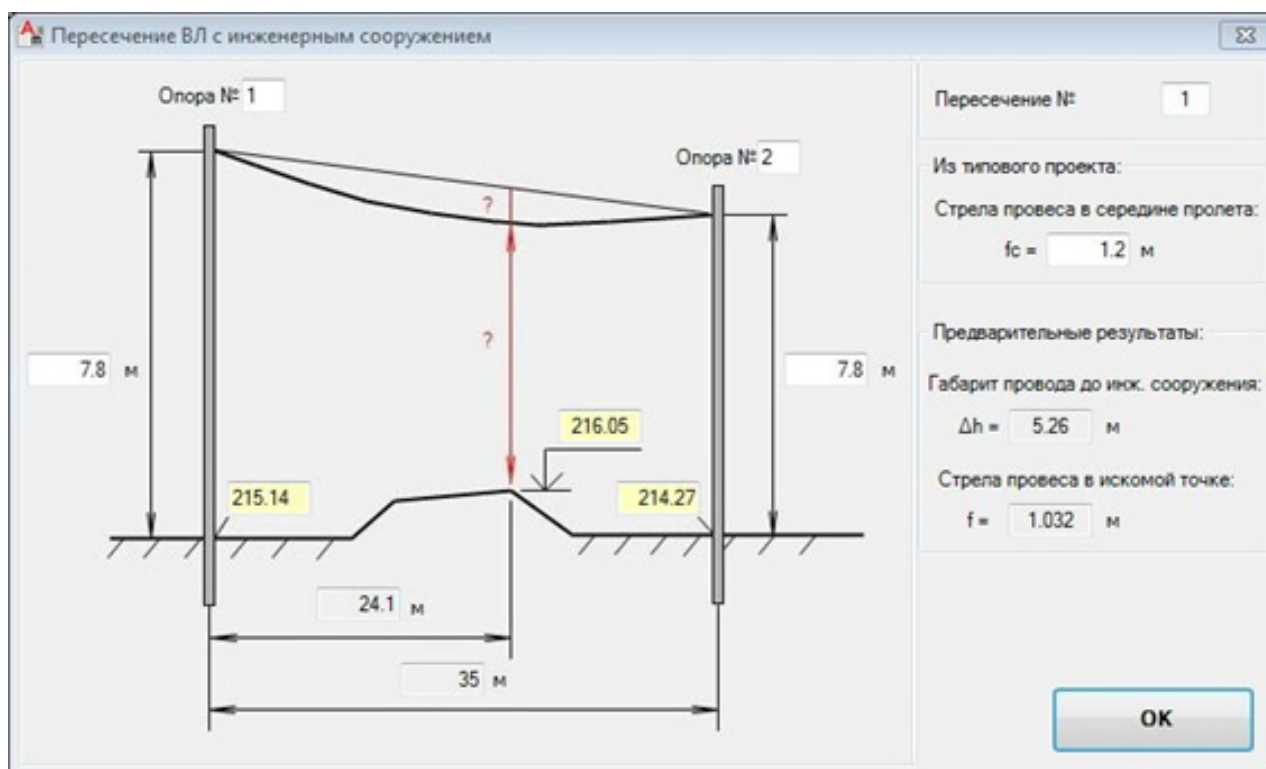


Рисунок 4 – Процесс расчета высоковольтных линий с инженерными сооружениями

Главная цель модуля: по стреле провеса, которая указана в типовом проекте и высотой точек подвеса провода, определить расстояние до сооружения, пересекаемого с высоковольтными линиями и создать эскиз для профиля пересечения.

Таким образом, программа SmartLine значительно упрощает и ускоряет работу специалиста, автоматизируя те процессы, которые занимают львиную долю в проектировании линий электропередач.

Литература

1. Основы построения систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]//koi.tspu. –Режим доступа: http://koi.tspu.ru/koi_books/skachkova/raz2%201.htm- Дата доступа: 17.10.2020
2. Программа для проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 10 и 0,4 кВ [Электронный ресурс]//ensto. – Режим доступа: <https://www.ensto.com/ru/support/tools/smartline/>. – Дата доступа: 16.10.2020
3. Состав и структура САПР. Классификации САПР. Цели создания и назначение. [Электронный ресурс]//vstusapr52. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/vstusapr52/6-kurs/gosy/>... – Дата доступа: 15.10.2020
4. SmartLine- программа для автоматизации проектирования высоковольтных линий 0.4 и 10 кВ. [Электронный ресурс]//RusCable.- Режим доступа: <https://mobile.ruscable.ru/article/1300/>- Дата доступа: 19.10.2020

УДК 681.3.06

ТВЕРДАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ЭЛЕГАЗУ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Поздняков М. Н., Коротченко С.Н.

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

Гексафторид серы (SF_6) использовался в качестве изолирующей и дугогасящей сред в распределительных устройствах десятилетиями. С потенциалом глобального потепления (ПГП) 22 800 л SF_6 является наиболее сильным парниковым газом из известных, а его использование в распределительных устройствах приводит к образованию токсичных газов.

Надежность сетей среднего напряжения имеет важное значение для эффективного развития интеллектуальных сетей. При этом главная роль отводится распределительным устройствам среднего напряжения, которые должны обеспечивать бесперебойную работу в неблагоприятных условиях окружающей среды и свести к минимуму вероятность возникновения внутренней дуги. Этим критериям полностью соответствуют распределительные устройства с экранированной твердой изоляцией.

Технология 2SIS (с англ. Shielded Solid Insulated Switchgear) обеспечивает наиболее эффективную защиту от неблагоприятных условий окружающей среды, поскольку изоляционные характеристики не подвержены влиянию всевозможных изменений электрического поля. Все первичные цепи имеют твердую изоляцию, а поверхность покрыта токопроводящим слоем, который заземлен и сохраняющим постоянный потенциал. Характеристики распределительного устройства с экранированной твердой изоляцией аналогичны характеристикам распределительного устройства с элегазовой изоляцией, которые обеспечивают такую же защиту для «класса агрессивных условий».

Эти распределительные устройства абсолютно не чувствительны к неблагоприятным условиям окружающей среды. В устройствах типа 2SIS металлический корпус или экран, который постоянно заземлен, задает нулевой потенциал. Линии электрического поля блокируются этим нулевым барьером металлического корпуса. В устройствах типа 2SIS поддерживается постоянное электрическое поле, поскольку оно находится в изолирующей среде (твердая изоляция в 2SIS). Различные внешние климатические условия не оказывают влияния на электрическое поле. Обеспечение постоянного электрического поля является залогом длительного срока службы вне зависимости от возможных неблагоприятных условий окружающей среды, в которых находится распределительное устройство.

Конструкция распределительного устройства с экранированной твердой изоляцией (2SIS) состоит из трех концентрических слоев: токоведущая часть, изоляционный слой, токопроводящий слой экрана.

Токоведущая часть (главный проводник) постоянно соединена с сетью среднего напряжения, в результате чего подвергается перепадам напряжения (например, короткое замыкание, перегрузка и т.п.).

Промежуточный изоляционный слой имеет очень плотный контакт с токоведущей частью и покрыт заземленным токопроводящим слоем. Задачей изоляционного слоя является выполнение функции изоляции во всех условиях эксплуатации в течение всего предполагаемого срока службы оборудования среднего напряжения. Изолирующий слой может быть выполнен из синтетической смолы, эластомера или силикона, в зависимости от применения. Эти изоляционные материалы хорошо известны своим высоким качеством и широко применяются в устройствах среднего напряжения. Их процесс производства, иногда достаточно сложный, сейчас хорошо освоен благодаря возможностям всестороннего контроля в реальном времени.

Внешний токопроводящий слой плотно охватывает изоляционный слой на всех доступных поверхностях установленного изделия. Токопроводящий слой может быть изготовлен методом многослойного литья или нанесения покрытия.

Современная технология экранированной твердой изоляции (2SIS) представляет множество преимуществ для обеспечения надежной работы в неблагоприятных условиях окружающей среды в сетях среднего напряжения. В отношении класса агрессивных условий окружающей среды и условий монтажа эта технология эквивалентна распределительным устройствам с элегазовой изоляцией. Благодаря разделению фаз с использованием токопроводящих слоев снижается вероятность возникновения дугового короткого замыкания. В конечном итоге, для многих систем заземления нейтрали, кроме глухозаземленной, система 2SIS обеспечивает ощутимое снижение величины тока однофазного короткого замыкания, тем самым снижая размер возможного ущерба.

Литература

1. Бердиков Р.Н. Политика инновационного развития и модернизации ОАО «ФСК ЕЭС»// Доклад [Электронный ресурс]. — Режим доступа:<http://www.fsk-ees.ru>.— Дата доступа: 19.10.2020
2. S. Milan, 2011, "Installation conditions and improved MV air insulated switchgear are key factors for an extended service life ", CIRED Conference, с.91.

УДК 681.3.06

**ИННОВАЦИИ И ПРОБЛЕМЫ В КОНСТРУКЦИИ ИЗОЛЯТОРОВ
СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Поздняков М.Н., Коротченко С.Н.

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

Сегодня изоляторы для сетей и распределительных устройств сверхвысоких напряжений ($U_{\text{ном}} \geq 750$ кВ) предлагаются из различных материалов в различном исполнении, при этом необходимо знать сильные и слабые стороны этих альтернатив, для оптимизации их выбора. Конструкция изоляторов должна соответствовать системным требованиям, которые включают уровни напряжения и тока, условия окружающей среды, расположению и требуемой механической прочности. Одной из проблем при проектировании изоляторов для сетей и распределительных устройств сверхвысоких напряжений является обеспечение необходимой длины пути токов утечки, а также уменьшение негативного воздействия на изоляцию и механические характеристики. Активно обсуждаются вопросы, связанные с проектированием внешней и внутренней изоляции изоляторов для сверхвысокого напряжения, с акцентом на опорные изоляторы, изготовленных из композитных полых изоляторов.

Размеры изоляторов определяются следующими параметрами:

- Длина пути тока утечки, определяемая показателями загрязнения при рабочем напряжении между фазой (полюсом) и землей;
- Расстояние дуги, определяемое выдерживаемым напряжением коммутируемого импульса.

Связь между напряжениями, выдерживаемыми изолятором ($U_{\text{в.и.}}$), и длиной изолятора (L) основано на формуле (1):

$$U_{\text{в.и.}} = 1080 * \ln(0,46 * L + 1) \quad (1)$$

Данная формула в реальности дает приблизительные значения. Окончательный результат будет зависеть от материала поверхности изолятора, величины коэффициента утечки и диаметра изолятора. Более существенным параметром является степень загрязнения поверхности изолятора. Тем не менее, при применении для сверхвысоких напряжений длина изолятора в большинстве случаев будет более 10 метров.

Конструкция внешней изоляции длинных изоляторов большого диаметра имеет плохие изоляционные характеристики в неблагоприятную погоду (туман, дождь, снег). Также в условиях высокого вакуума становится трудно моделировать в лаборатории эффекты накопления, распределения и каскадирования воды вдоль изолятора длиной более 10 м. Пока недостаточно данных, которые могли бы дать точный отчет об этом влиянии на напряжение пробоя.

Одной из проблем является изготовление фарфоровых опорных изоляторов с сердечником большого диаметра, поэтому альтернативой стали изоляторы из

композитных материалов. Одним из преимуществ является использование на поверхности материала для передачи гидрофобности (НТМ) с улучшенной внешней изоляционной прочностью, но возникла проблема с внутренней изоляцией. В итоге оптимальным оказалось сочетание фарфора, покрытого силиконом RTV, благодаря гидрофобным свойствам покрытия требуемая унифицированная удельная длина пути утечки была снижена на 20%. Изоляторы, которые в противном случае имели бы длину около 14 м, в результате стали и диаметр сердечника также уменьшился.

Конструкция внутренней изоляции оказывает влияние на внешнюю изоляцию посредством градации электрического поля. Различия между внутренним и внешним распределением напряжения могут привести к выходу из строя и/или пробоем полых изоляторов. Основные задачи состоят в том, чтобы определить наиболее подходящие материалы, которые будут использоваться для внутренней изоляции, а также методы предотвращения утечки и (или) попадания влаги. В качестве внутренней изоляции используются несколько материалов: твердый эпоксидный стержень, пенополиуретан (PUR), пена ПВХ, сжатый газ, газ низкого давления (близкий к атмосферному). У первых трёх самым слабым местом внутренней изоляции являются интерфейсы, которые представляют жесткую границу раздела между сердечником и трубкой изолятора с полым сердечником. Этот интерфейс может подвергаться риску попадания влаги даже во время производства. Последние два требуют герметичности исполнения и имеют свои дополнительные конструктивные особенности.

Проблема выбора изолятора сверхвысокого напряжения заключается в конструкции изолятора для необходимости обеспечения требуемой длины, одновременно уменьшая негативное влияние на изоляцию и механические характеристики. При проектировании системы пытаются снизить уровни выдерживаемого напряжения коммутируемого импульса, требуемую удельную длину пути тока утечки уменьшают за счет использования изоляторов с поверхностью НТМ. Внутренняя изоляция может обеспечить условия для уменьшения расстояния искрения, так как были разработаны и доступны изоляторы из различных материалов и конструкций.

Литература

1. Ким Е.Д., Назаренко А.В., Карюк Д.Г. Исследование электрического поля высоковольтного проходного изолятора с полимерной изоляцией / Е.Д. Ким, А.В. Назаренко, Д.Г. Карюк // Вестник ХГПУ «ХПИ», - 2013, - Выпуск 17, - с. 93-99.
2. Hoch, DA., Mahatho, N., Bolonga F., «Водно-индуцированные разряды на силиконовых и резиновых изоляторах». Статьи и публикации UViRCO Technologies. Доступно по ссылке: <http://www.uvirco.com/papers.html>. Дата доступа: 19.10.2020.

УДК621.3

ИННОВАЦИОННАЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ 6-10/0,95/0,4В

Прокопенко В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

В распределительных электрических сетях существует круг проблем, от решения которых во многом зависит надежное и эффективное функционирование распределительного сетевого комплекса в долгосрочной перспективе. Одним из решений имеющихся проблем является внедрение инновационных технологий, позволяющих обеспечить условия для снижения потерь электрической энергии, увеличения пропускной способности электрических сетей и повышения эффективности их функционирования.

В настоящее время в распределительных электрических сетях (особенно в низковольтных сетях) можно выделить ряд негативных тенденций, а именно:

- продолжающаяся эксплуатация морально и физически устаревшего оборудования потребительских подстанций;
- малая эффективная длина и ограниченная пропускная способность линий электропередачи;
- значительная величина коммерческих и технических потерь электрической энергии;
- сверхнормативные отклонения напряжения (более 10%) в электрически удаленных точках сети.

В связи с тем, что не всегда технически возможно и экономически обосновано решение вышеуказанных проблем посредством применения традиционных подходов к построению схем электроснабжения потребителей, было предложено новое техническое решение передачи электрической энергии на напряжении 0,95 кВ с использованием индивидуальных однофазных и трехфазных трансформаторов напряжением 0,55/0,23 кВ и 0,95/0,4 кВ соответственно, которое позволило решить ряд указанных выше проблем.

В зависимости от сложившихся планировочных решений и особенностей развития населенного пункта, а также среднего значения удельной мощности электропотребления на вводе, в состав индивидуальной трансформаторной подстанции могут быть включено следующее оборудование:

- однофазные или трехфазные трансформаторы мощностью 6, 10, 16, 25 кВА с устройством крепления к стандартным стойкам ВЛ;
- ограничитель перенапряжения;
- рубильник с предохранителем;
- шкаф учета и распределения электроэнергии.

Предложенная технология позволила решить следующие задачи:

- адаптацию низковольтных электрических сетей к росту электрических нагрузок;
- сокращение потерь электрической энергии, в том числе вызванных несанкционированным подключением;
- сокращение затрат на строительство и эксплуатацию электрических сетей;

- повышение управляемости и наблюдательности низковольтной электрической сети;

Основной принцип:

Основной принцип системы распределения электроэнергии на напряжении 0,95 кВ заключается в организации сетей данного класса напряжения с частичным использованием основных элементов существующих сетей низкого напряжения (0,4 кВ), применением групповых трансформаторных подстанций 6-10/0,95/0,4 кВ или 6-10/0,95 кВ и индивидуальных трансформаторов небольшой мощности на напряжение 0,95(0,55) / 0,4(0,23) кВ устанавливаемых в непосредственной близости к потребителю (на ближайшей опоре ВЛ).

Пример принципиальной схемы сети 0,95 кВ представлен на рисунке 1.

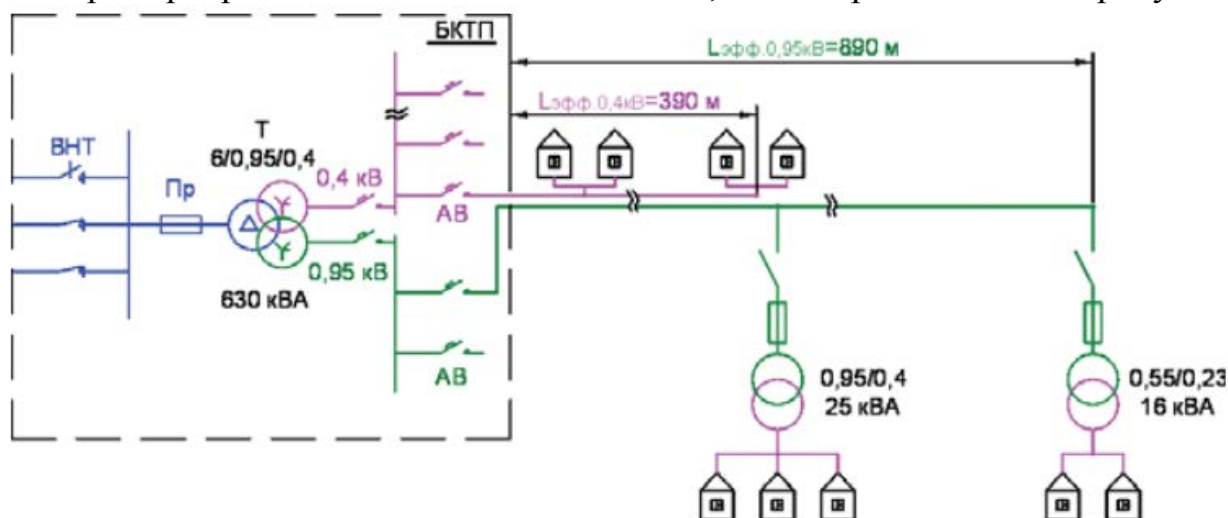


Рисунок 1 – Принципиальная схема сети 0,95 кВ

Данное техническое решение распределения электрической энергии позволяет:

- уменьшить количество групповых (потребительских) подстанций напряжением 6–10/0,4 кВ;
- сократить общую длину питающей их сети 6–10 кВ, (отпаяк от ВЛ 6(10) кВ к ТП 6–10/0,4кВ) за счет увеличения эффективной длины фидеров 0,95 кВ;
- эффективнее использовать суточный график загрузки группового силового трансформатора напряжением 6–10/0,95/0,4 кВ или 6–10/0,95 кВ за счет подключения к нему большего количества потребителей.

К воздушным линиям 0,95 кВ предъявляются те же нормативные требования, что и к ВЛ 0,4 кВ (ПУЭ, издание 7, раздел 2.4), а их строительство осуществляется с применением аналогичных требований к габаритам прохождения ВЛ, параллельного следования и сближения с инженерными сооружениями. Оборудование, изделия и материалы, которые используются при строительстве воздушных линий 0,4 кВ, применимы и к воздушным линиям 0,95 кВ.

Схема электроснабжения потребителей населенных пунктов с применением напряжения 0,95 кВ позволяет:

- при реконструкции существующей электрической сети осуществлять

замену силовых трансформаторов 6–10/0,4 кВ в эксплуатируемых БКТП (блочных комплектных трансформаторных подстанций) при сохранении существующих размеров трансформаторных камер на силовые трансформаторы напряжением 6–10/0,95 кВ;

- – использовать с незначительным изменением компоновочных решений существующие БКТП при применении трехобмоточных трансформаторов напряжением 6–10/0,95/0,4 кВ;
- – применять на опорах ВЛ совместную подвеску сетей напряжением 0,4 и 0,95 кВ для электроснабжения потребителей.

Система напряжения 0,95 кВ имеет преимущества применения (особенно в динамично развивающихся зонах с плотной жилой застройкой), в которых с учетом соблюдения охранных зон и требований к электробезопасности технически сложно или экономически нецелесообразно строительство заходов ВЛ 6–10 кВ для питания новых ТП 6–10/0,4 кВ.

Применение электрической сети напряжением 0,95 кВ с использованием индивидуальных однофазных и трехфазных трансформаторов позволяет получить следующие основные преимущества по сравнению с традиционным исполнением низковольтной электрической сети, а именно:

- – увеличение эффективной длины линии электропередачи напряжением 0,95 кВ в среднем в 3 раза (при сопоставимой нагрузке потребителей);
- – создание технических ограничений для несанкционированного подключения к сетям напряжением 0,95 кВ;
- – увеличение пропускной способности низковольтной электрической сети;
- – осуществление дополнительного технологического присоединения потребителей без значительной реконструкции существующей электрической сети (при наличии резервной мощности трансформатора);
- – обеспечение нормированного отклонения напряжения в электрически удаленной точке при электроснабжении удаленных потребителей.

Сравнительные характеристики вариантов электроснабжения потребителей населенных пунктов по традиционной схеме распределения электрической энергии на напряжении сети 0,4 кВ и по сети 0,95 кВ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики вариантов электроснабжения потребителей

Характеристика	Традиционная электрическая сеть 0,4 кВ	Распределительная электрическая сеть 0,95 кВ
Максимальное расстояние, на которое можно передать нагрузку 100 кВт (на конце линии) с использованием провода сечением 70 мм ²	350 м	900 м

Электробезопасность	Режим заземления нейтрали — глухозаземленная нейтраль	Режим заземления нейтрали — глухозаземленная нейтраль
Несанкционированное подключение к сети	Возможность для несанкционированного подключения	Техническая сложность несанкционированного подключения
Адаптивность сети при увеличении электрической нагрузки	1. Увеличение количества потребительских ТП. 2. Строительство заходов или новых ВЛ 6–10 кВ для питания групповых ТП. 3. Подвеска дополнительной цепи для увеличения пропускной способности ВЛ (если это было учтено при проектировании)	1. Переключение потребителей от цепи 0,4 кВ к цепи 0,95 кВ с установкой индивидуальных трансформаторов. 2. Установка силового трансформатора на ТП со вторичной обмоткой напряжением 0,95 кВ.
Приоритетность применения	1. Населенные пункты без явно выраженной динамики роста электрических нагрузок. 2. Малые удельные значения присоединяемой мощности на вводе к потребителю. 3. Возможность использования ВЛ 0,4 кВ с длиной фидера до 400 м при соблюдении допустимого значения отклонения напряжения у наиболее удаленного потребителя.	1. При большой плотности и значениях подключаемой электрической нагрузки. 2. При планировочных решениях населенного пункта, имеющих протяженные улицы. 3. При технической сложности строительства питающих линий 6–10 кВ (отпаек) для подключения дополнительных ТП в условиях местности, насыщенной инженерными коммуникациями. 4. Улучшенный режим суточного графика загрузки групповой ТП в связи с подключением большого количества потребителей.

Принимая во внимание тот факт, что большая часть сетей напряжением 0,4 кВ находится в эксплуатации сверх нормативного срока, не всегда отвечают современным показателям надежности, уровню потерь и требованиям по качеству электрической энергии, можно сделать вывод об имеющейся объективной необходимости увеличения объемов нового строительства и реконструкции низковольтных сетей с применением напряжения 0,95 кВ.

При внедрении инновационной сети напряжением 0,95 кВ необходимо применять схемные решения, позволяющие получить общий положительный эффект от снижения коммерческих и технических потерь электрической энергии, который компенсирует дополнительные технические потери, обусловленные применением индивидуальных трансформаторов.

Литература

1. Аметистов Е.В. Основы современной энергетики. Лекции / Е.В. Аметистов – Москва : Энергоатомиздат, 2012. — 528 с.
2. Презентационные материалы [Электронный ресурс] — 2015. — Режим доступа. — URL: <http://www.rosseti.ru/press/presentation/>. Дата доступа: 20.10.2020.
3. Реализованные и разрабатываемые проекты АО «НИИЦ МРСК» [Электронный ресурс] — 2015. — Режим доступа. — URL: <http://www.niic-mrsk.ru/realizovannye-i-gazrabatyvaemye-proekty-oo-niic-mrsk/>. Дата доступа: 20.10.2020.
4. Силовые трансформаторы на напряжение 10(6)/0,95 кВ [Электронный ресурс] — 2015. — Режим доступа. — URL: <http://www.rosseti.ru/press/presentation/>. Дата доступа: 20.10.2020.

УДК621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПОР ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Прокопенко В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

В связи с развитием технологий в современной энергетике было предложено использовать композитные материалы опор линий электропередач.

Повышенные эксплуатационные характеристики композитных опор, по сравнению с традиционными, объясняются свойствами стеклопластика, из которого они изготавливаются. Это пластичный материал, в основе которого стоит стекловолокнистый наполнитель из специального связующего вещества, чаще всего ими являются термопластичные полимеры.

При небольшой плотности стеклопластики обладают высокими физико-механическими характеристиками. Механические свойства стеклопластика определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом.

Композитные опоры удается эффективно использовать в сетях среднего напряжения. Стоимость опор компенсируется низкими затратами на монтаж и обслуживание, а также высокой надежностью конструкций и снижением аварийности.

Конкурентными преимуществами композиционных опор перед их традиционными конкурентами являются:

- малый вес опор. Так, например, опора высотой 12 метров весит всего 68 кг, что в несколько раз меньше веса деревянных опор;

Таблица 1 – Сравнение массогабаритных характеристик опор

Композитные опоры		Деревянные опоры		Стальные опоры		Железобетонные опоры	
Высота опор, мм	Вес*, кг	Высота опор, мм	Вес**, кг	Высота опор, мм	Вес, кг	Высота опор, мм	Вес, кг
8000	38-45	8500	180, 240, 320	9000	210	9500	800
9000	42-66	9500	200, 280, 380	18,6	1236	10500	1200
11000	57-92	11000	240, 370, 460	19,6	1468	11000	1100
12000	68-110	12000	300, 380, 530	24,9	2528	16400	3620

* Вес композитных опор указан для различных расчетных значений нагрузки на вершину опоры: 250 – 500 кг.

** Вес деревянных опор указан для различных классов: L (легкие), M (средние), S (прочные).

- упрощение хранения и транспортировки, секции опор полые и их можно хранить и перевозить одна в другой, по принципу «матрешки», представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Принцип хранения и перевозки композитных опор

- простота монтажа опор, что ведет к удешевлению стоимости транспортировки и монтажных работ.
- не требуется техническое обслуживание в процессе эксплуатации. Опоры из композита не подвержены коррозии и гниению.
- опоры из композитных материалов обладают высокой прочностью и долговечностью.
- огнестойкость и экологичность. Нет проблем с утилизацией опор, подобных деревянным опорам пропитанных креозотом.
- хорошие диэлектрические свойства.
- безопасность для автотранспорта. Опоры из композитных материалов являются более ударобезопасными.

Стандартные опоры ЛЭП - это проводники, что влечет определенные особенности, которые надо будет учитывать при изоляции ЛЭП. Этого недостатка лишены композиционные опоры, так как они являются диэлектриками. Это приводит к упрощению схемы защиты и габаритов линии.

За счет применения как передовых, так и проверенных временем материалов в пропорции четыре композитные опоры на одну деревянную (метод сооружения «4/1») обеспечивается максимально доступная надежность на сегодняшний день при умеренных затратах на сооружение линии.

Схема «4/1» повышает надежность механической части воздушной линии электропередачи и электроснабжения потребителей в тяжелых погодных условиях, сокращает издержки на эксплуатацию. Также предлагаемая конструкция позволяет значительно ускорить возведение ВЛ. При возможном повреждении стоек линия может продолжать функционирование в нормальном режиме до устранения бригадой электромонтеров дефектов. Позволяет обеспечить надежное электроснабжение потребителя при актах вандализма на линии за счет применения деревянных опор. На основании положительного опыта выполнения конструкторских работ западных специалистов, а также опыта использования композитных опор можно судить о необходимости внедрения схем с применением композитных опор и в Беларуси.

Литература

1. Аметистов Е.В. Основы современной энергетики. Лекции / Е.В. Аметистов – Москва :Энергоатомиздат, 2012. —528 с.
2. Фурсанов М.И., Сазонов П.А. Анализ эффективности применения композитных опор в электрических сетях Республики Беларусь / М. И. Фурсанов, П. А. Сазонов// Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ[Электронный ресурс]—2019.—Режим доступа: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-15-23>. Дата доступа: 20.10.2020.

УДК-621.315.28

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Тарасевич Д.Д., Лосенков Д.О., Булин М.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Подводный силовой кабель это кабель, предназначенный для передач электрической энергии под водой. Зачастую данные кабели используются в соленой воде, но также существуют примеры использования подводных силовых кабелей в пресной воде (большие озера и реки).

Подводные силовые кабели предназначены для транспортировки электроэнергии при высоком напряжении. Электрический сердечник такого кабеля включает в себя концентрическую сборку внутреннего проводника, электроизоляционного и защитного слоев, а так же возможно наличие оптических волокон для передачи данных[1].

Проводник подводного силового кабеля выполняется из меди или алюминиевых проволок. Для этого используют проводники сечением $S \leq 1200$ мм². Для напряжений 10кВ и выше проводники имеют круглое сечение, поэтому изоляция подвергается воздействию равномерного градиента электрического поля [1]. Так же проводник для кабеля может быть скручен из отдельных круглых проводов или быть однопроволочным. В некоторых конструкциях профилированные провода укладываются в виде проводника с круглым сечением, при этом промежутки между проводами очень малы.

В настоящий момент для силовых подводных кабелей используют три различных типа электрической изоляции вокруг жилы. Сшитый полиэтилен (XLPE) используют для изоляции до напряжения сети 330кВ. Изоляция изготавливается методом экструзии с толщиной до 30 мм[1]. При этом, определенные химические составы изоляции из сшитого полиэтилена используются и для постоянного тока.

Кабели низкого давления, заполненные маслом, имеют изоляцию из бумажных лент. Вся жила кабеля пропитана изоляционной жидкостью с низкой вязкостью (минеральное масло или синтетическое масло).

Для бронирования кабелей с напряжением 35кВ и выше используют оболочку из экструдированного свинца, что предотвращает проникновение воды. В одножильных кабелях жила окружена концентрической броней. В трехжильных кабелях перед нанесением брони три жилы кабеля укладываются по спирали. Броня кабеля в основном состоит из стальной проволоки, которая пропитывается битумом для защиты от коррозии.

Значительным препятствием для использования подводных кабелей состоит в том, что при больших расстояниях удаления (50 км и более) источника электроэнергии от потребителя под водой неосуществима, так как система электропередачи становится электрически нестабильной из-за емкостного эффекта. Так же при ограниченной нагрузке влияние подводного кабеля очень велико. Индуктивность и сопротивление такого кабеля вызывает большое

падение напряжения, которое может привести к нулевому напряжению на конце линии.

Подводный силовой кабель обладает большой электрической емкостью, поэтому при передаче электроэнергии на переменном токе возникает емкостный эффект. Сущность емкостного эффекта заключается в том, что емкостный зарядный ток в кабеле возрастает при увеличении длины кабеля и напряжения. При больших расстояниях удаления емкостный зарядный ток в кабеле возрастает до значений больших, чем ток, на который рассчитана нагрузка. Данный эффект компенсируется уменьшением электрической частоты.

Литература

1. Подводный силовой кабель // Режим доступа: https://ru.qaz.wiki/wiki/Submarine_power_cable – Дата доступа 29.10.2020.
2. Стинессен Х.У., Бьеркнес У.Ю. – Система передачи электроэнергии под водой для обеспечения работы высокооборотного двигателя // Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2571117C2_20151220 – Дата доступа 22.10.2020.

УДК621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РБ

Товстюк А.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

В 2018 году по инициативе белорусских общественных организаций и Фонда Генриха Бёлля (Германия) был разработан сценарий «Энергетической революции», предлагающий возможность перехода Беларуси к декарбонизированной энергетической системе к 2050 году.

Сценарий рассматривает возможность перехода от существующей в Беларуси энергетической системы на основе использования ископаемого и ядерного топлива к системе, основанной на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Предполагается, что к 2050 году новая энергетическая система может быть преимущественно основана на производстве и потреблении электроэнергии, которая станет основным видом «первичной» энергии для непосредственного использования в различных целях во всех секторах экономики. При этом генерация 92% электроэнергии будет осуществляться за счет возобновляемых источников энергии (в основном солнечной и ветровой), при сохранении небольшого количества генерации на основе газа и биомассы (для использования в качестве гарантирующих мощностей). Доля импорта источников энергии (в основном биомассы и газа) будет составлять не более 10%, что произойдет за счет увеличения объема энергообеспечения из внутренних источников. Помимо достижения целей энергетической безопасности Беларуси, согласно сценарию энергетической революции к 2050 году выбросы CO₂ в Беларуси будут на 93% ниже аналогичных показателей 1990 года.

Помимо очевидно предполагаемой сценарием стратегии увеличения доли генерации энергии на основе альтернативных источников и перепрофилирования существующих источников генерации энергии на традиционном топливе, коренным образом должна измениться сама структура энергетического производства-потребления.

Во-первых, на место централизованной энергетической сети (с доминированием нескольких крупных производителей) должна прийти система многих децентрализованных источников энергии, интегрированных в местные распределительные сети.

Во-вторых, домохозяйства и малые предприятия становятся не только потребителем энергии, но и производителем собственной энергии. Производя энергию на месте, с такими же или меньшими затратами, чем тарифы на электроэнергию централизованных энергосетей, они становятся «производящими потребителями» (prosumers) (Рис. 1).

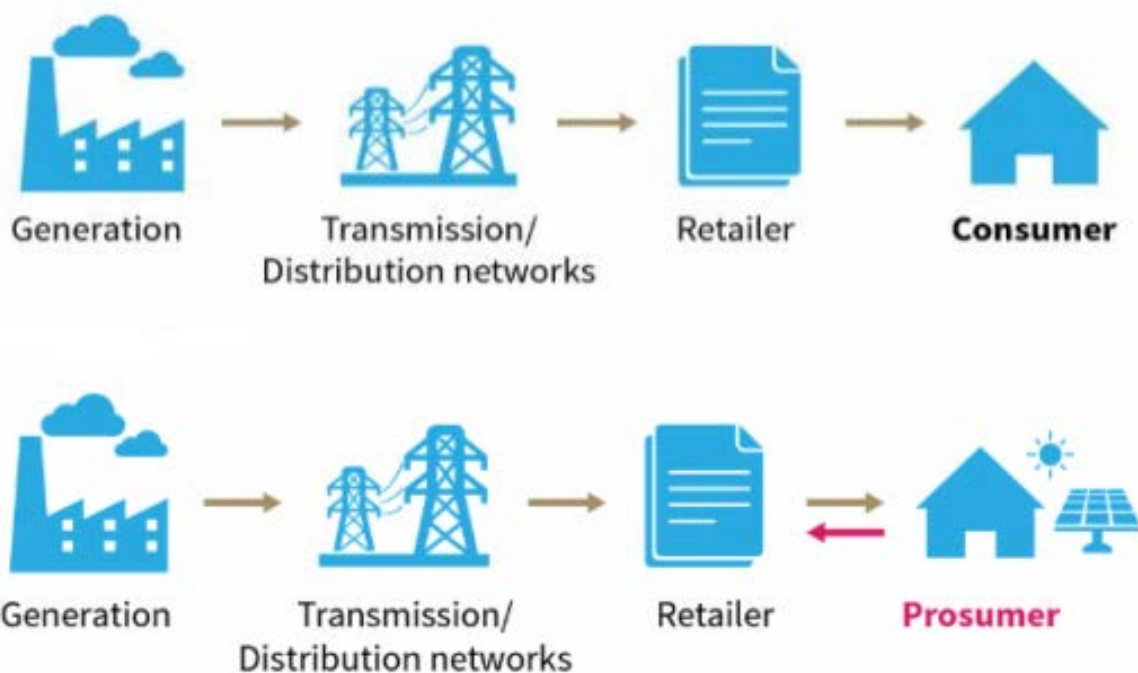


Рисунок 1 – Традиционный сценарий производства-потребления энергии и новый двунаправленный поток энергии

В-третьих, при том, что большая доля энергии будет производиться и потребляться децентрализованными источниками энергии (60-70% электроэнергии будет производиться большим количеством малых распределенных электростанций), для нужд крупной промышленности, транспортного и теплоэнергетического сектора понадобится централизованная возобновляемая энергия (30-40% электростанций).

В-четвёртых, увеличение долей технологий распределенного производства энергии требует адаптации энергетических политик под «производящих потребителей» (prosumers) как для стимулирования коммерческого производства децентрализованных энергетических технологий, так и для обеспечения новых условий для оперирования энергетических компаний, бизнес-модели которых в условиях конкуренции с децентрализованными prosumers будут претерпевать существенные изменения.

Реализация этих положений требует как совершенствования существующих моделей управления ресурсами на макроуровне, так и создания новых для мезо- и микроуровней (предприятий и отдельных домохозяйств), то есть в первую очередь речь идет о распределительных сетях. Здесь намечается широкое внедрение систем распределенной автоматизации (с наделением каждого отдельно установленного устройства интеллектом) в сочетании с расширением коммуникационных возможностей для интеграции отдельных приборов в единую сеть обмена данными.

Актуальной становится также задача организации согласованной работы генераторов ВИЭ, накопительных устройств, а также распределенной генерации на органическом топливе на основе АСУ, интегрированных с системами управления распределительных сетей. Необходимы также новые подходы к

созданию энергоинформационных распределительных сетей на основе технологии компьютерных сетей, интернет-сервисов, распределенной генерации и устройств для накопления электроэнергии и управления потоком мощности.

Подходы к созданию интеллектуальных систем для комплексного мониторинга использования энергоресурсов и контроля уровня качества электрической энергии в условиях распределенной генерации требуют выявления факторов и закономерностей, которые необходимо учитывать при функционировании энергетических систем с распределенной генерацией на основе ВИЭ.

Накопители энергии и технологии их создания в числе самых важных технологий для энергетики будущего, так как их создание приведет к более эффективному использованию электричества, позволит провести диверсификацию электросетей, значительно снизить стоимость их технического обслуживания и даже создавать частые мини-сети для местного использования.

Целью электроэнергетики нового поколения является как надежность и эффективность (экономическая, технологическая и социальная) всей системы энергоснабжения на территории страны, так и ее стимулирующая роль драйвера экономического развития регионов и важнейшего фактора устойчивого развития страны. То есть, реализуется концепция трех «Э» – комплексный энерго-эколого-экономический подхода.

Литература

1. Заборовский А.М. Энергетика 2030: глобальные тренды и национальная энергетическая политика: моногр. / А.М. Заборовский, М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов. — Минск : Изд. центр БГУ, 2013. – 150 с
2. Дайнеко А.Е. Энергоэффективность экономики Беларуси / А.Е. Дайнеко, Л.П. Падалко, В.М. Цилибина // Беларуская навука. – 2016. – 120 с.
3. Заборовский А.М. Энергетика 2030: глобальные тренды и национальная энергетическая политика: моногр. / А.М. Заборовский, М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов. — Минск : Изд. центр БГУ, 2013. – 150 с

УДК 621.316.9

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Товстюк А.Ю.

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

Удар молнии в электротехнические объекты может нанести значительный ущерб, как выход из строя электрооборудования, так и его возгорание. Таким образом, молниезащита представляет комплекс мероприятий, направленных на защиту от прямых ударов молнии и индуцированных перенапряжений.

В случае удара молнии в линию электропередачи (ЛЭП) или вблизи нее на проводах возникает перенапряжение, под воздействием которого изоляция может перекрыться. При заданном номинальном напряжении вероятность возникновения дуги (P_d) приблизительно обратно пропорциональна длине пути перекрытия и определяется по формуле

$$P_d = (1,59E - 6) \times 10^{-2}, \quad (1)$$

где $E = \frac{U_\phi}{l}$ - средняя напряженность электрического поля вдоль пути перекрытия;

U_ϕ - фазное напряжение сети;

l - длина пути перекрытия, м.

Поэтому за счет увеличения l можно снизить вероятность установления силовой дуги и, следовательно, сократить число отключений линии.

К мероприятиям, увеличивающим грозоупорность воздушных линий (ВЛ) 6–35 кВ, относятся использование:

- изолированной, компенсированной или резистивно-заземленной нейтрали;
- автоматическое повторное включение (АПВ);
- изоляционных траверс из пластических материалов

Применение молниезащитного троса на ВЛ 6-35 кВ малоэффективно из-за низкой импульсной прочности линейной изоляции и высокой вероятности обратного перекрытия при ударе молнии в опору и трос. Только на ВЛ 35 кВ на подходе к подстанциям подвешивается молниезащитный трос для защиты подстанционного оборудования от набегающих волн перенапряжений с ВЛ.

На ВЛ 6-35 кВ для защиты ослабленных мест устанавливаются ограничители перенапряжений (ОПН). К таким местам относятся:

- пересечения ВЛ между собой и с линиями связи;
- опоры ВЛ со сниженной импульсной прочностью изоляции;
- высокие переходные опоры;
- ответвления к подстанциям на отпайках и секционирующие разъединители на опорах.

Защита пересечения ВЛ вызвана необходимостью предотвратить тяжелые аварии в случае перекрытия в результате разряда молнии с верхней ВЛ на

нижнюю или на линию связи. Наибольшую опасность представляет удар молнии в пролет пересечения. Поэтому в пролете пересечения целесообразно снять трос с нижней ВЛ и выбрать точку пересечения дальше от середины пролета верхней ВЛ.

Эффективными методами защиты от прямых ударов молнии ВЛ 6-10 кВ являются:

- применение опор, обеспечивающих расположение проводов треугольнику;
- установка длинно-искровых разрядников (РДИ) параллельно изолятору;
- установка на верхнюю фазу РДИ с относительно небольшой длиной перекрытия (например, 1 м для ВЛ 10 кВ);
- установка на нижние фазы РДИ с длиной перекрытия по 2 м.

Установка РДИ обеспечит также защиту от индуктированных перенапряжений.

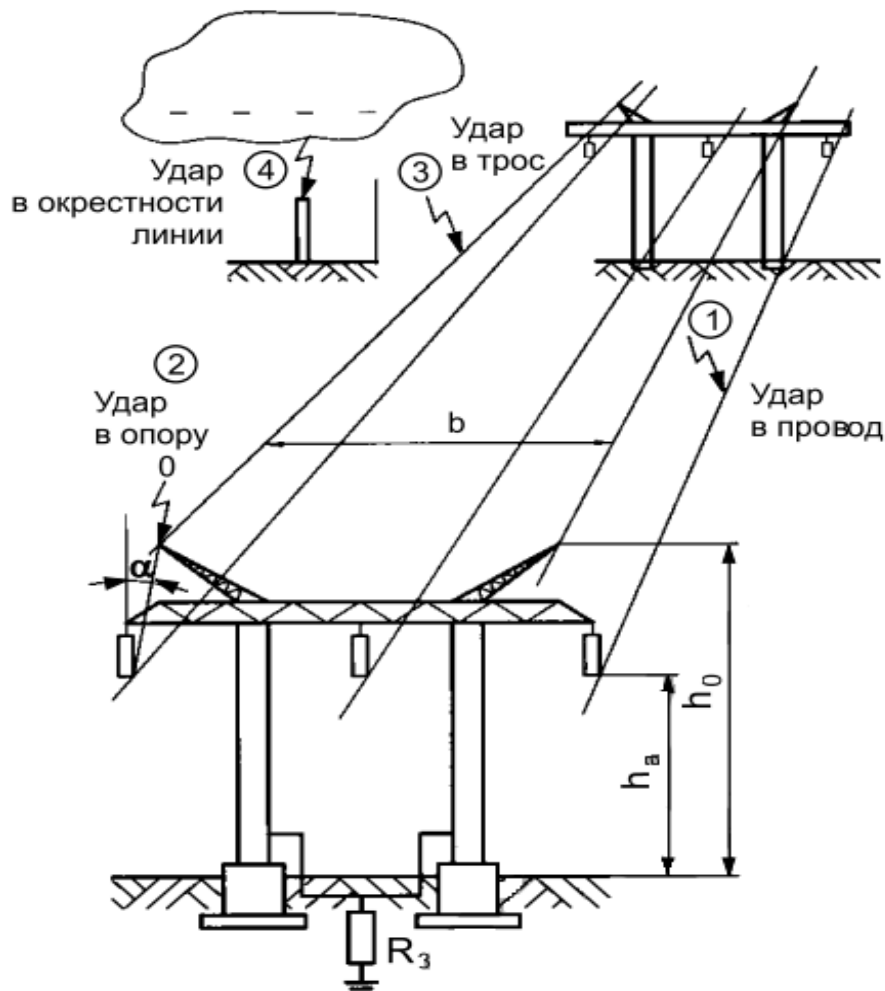
Критические значения тока молнии, приводящие к перекрытию линейной изоляции, при прорывах молнии на провода следующие: изоляция ВЛ 110-330 кВ перекрывается при амплитуде тока молнии от 3 кА и выше, для изоляции ВЛ 750 кВ опасен ток молнии от 15 до 35 кА. Практически каждый удар молнии в провод ВЛ 110 кВ вызывает перекрытие изоляции, опасным для ВЛ 750 кВ является 30-40 % разрядов молнии.

На ВЛ 110-750 кВ, защищенных тросом, возможны отключения из-за ударов молнии в опору или трос и прорыва молнии на провод (рис.1). При ударе в опору появляются обратные перекрытия линейной изоляции из-за перенапряжений, возникающих при протекании тока молнии по опоре. По последствиям для изоляции к этой категории относятся также удары в прилегающие к опоре участки троса.

При ударе молнии в трос в середине пролета возникают перенапряжения трос-провод и после пробега по пролету и стекания тока молнии по опоре - на линейной изоляции. Расстояние между тросом и проводом в середине пролета нормируется ПУЭ по условиям молниезащиты в зависимости от длины пролета: до и после прихода в точку удара волны перенапряжений, отраженной от опоры с противоположным знаком, напряжение на воздушном промежутке не должно достичь его пробивного значения.

Обратные перекрытия возникают при больших амплитудах тока молнии. При удалении точки удара молнии от опоры к середине пролета вероятность обратного перекрытия уменьшается из-за распределения тока молнии между двумя опорами, снижения крутизны тока за счет потерь на импульсную корону.

Вероятность прорыва молнии через тросовую защиту на провода зависит от числа и расположения тросов относительно проводов (угла защиты α и превышения троса над проводом Δh) и высоты опоры $h_{оп}$. Эффективность тросовой защиты от прорывов возрастает с уменьшением $h_{оп}$ и угла α и с увеличением Δh .



- 1 - удар молнии в провод с последующим перекрытием с провода на опру или между проводами;
- 2- удар молнии в вершину опоры с последующим перекрытием с опоры на провод;
- 3- удар молнии в пролет троса с последующим перекрытием с троса на провод или на землю;
- 4 - удар молнии вблизи ВЛ, сопровождающийся появлением перекрытий вследствие индуктированных перенапряжений

Рисунок 1 – Расчетные случаи поражения молнией линии с тросами

Переход к отрицательным защитным углам α , смещение тросов за пределы расположения проводов существенно снижают вероятность прорыва молнии сверху на средний провод. Оптимальной является величина $\alpha = 20^\circ - 30^\circ$.

В качестве основных средств молниезащиты на ВЛ 110-750 кВ используются:

- подвеска заземленных тросов;
- снижение сопротивления заземления опор;
- повышение импульсной прочности линейной изоляции;
- защита отдельных опор и участков с ослабленной изоляцией;
- ОПН.

Дополнительным средством повышения надежности и бесперебойности работы ВЛ является АПВ, в особенности быстродействующее.

Подвеска заземленных тросов позволяет уменьшить число ударов молнии в провода, представляющих наибольшую опасность для ВЛ. Значительно

повышают грозоупорность ВЛ опоры, имеющие горизонтальное расположение фаз (например, порталного типа); на порталных опорах для уменьшения угла α применяются два грозозащитных троса.

Литература

1. ТКП 336-2011 (02230). Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. – Введ. 01.11.2011. – Минск : Министерство энергетики РБ: Филиал «Информационно-издательский центр» ОАО «Экономэнергo», 2011, 116 с.
2. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений. – 2-е изд. -Минск: Вышш. школа, 1982.

УДК621.3

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Товстюк А.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

Телемеханика – это комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают возможность приема и передачи информации, сигналов от различных объектов, а также позволяют управлять оборудованием данных объектов.

Распределительные электрические сети — это высоковольтные линии (6 кВ и выше), связывающие понизительные питающие подстанции 220—35/6 (10) кВ непосредственно с потребителями электроэнергии. В зависимости от удаленности потребителей от питающей подстанции, от потребляемой мощности, категории надежности электроснабжения распределительные сети могут иметь различные напряжение, конфигурацию и организацию эксплуатационного обслуживания. Оперативное управление распределительными сетями осуществляется с диспетчерских пунктов предприятий электросетей (ДП ПЭС) или районов электросетей (ДП РЭС), входящих в то или иное ПЭС. Как правило, распределительные сети 110—220 кВ и соответствующие питающие подстанции находятся в оперативном подчинении диспетчера ПЭС, а сети 35 кВ и 6 (10) и соответствующие понизительные подстанции управляются с ДП РЭС.

Объектами телеконтроля и управления на питающих подстанциях являются: положение высоковольтной коммутационной аппаратуры подстанций и отходящих от нее линий электроснабжения, уровни напряжений на шинах подстанций, токи нагрузок по линиям, перетоки мощности по линиям, потребление энергии потребителями. Объекты телеконтроля на подстанциях сосредоточены в пределах подстанции и обычно обслуживаются одним телемеханическим устройством КП.

В распределительных сетях 6 (10) кВ объекты телеконтроля рассредоточены по значительной территории, на которой находятся пункты секционирования (СП), распределительные переключательные пункты (РП, ЦРП), закрытые трансформаторные подстанции (ЗТП) 10/0,4 кВ, пункты двустороннего питания, оборудованные автоматами АВР (пункты АВР), и т. п. Все перечисленные пункты распределительной сети должны быть телемеханизированы для телеконтроля состояния выключательной мощности телеуправления этими выключателями с ДП РЭС. При отсутствии устройств телемеханики эффективность работы автоматики в пунктах секционирования сети и пунктах АВР значительно снижается из-за отсутствия информации у диспетчера об аварийных отключениях и невозможности изменения конфигурации сети для восстановления надежного энергоснабжения.

Важной информацией для снижения потерь в сетях являются также телеизмерение уровня напряжений в узловых точках сети, телеуправление положением анцапф трансформаторов и возможность подключения или

отключения специальных компенсирующих конденсаторных батарей для уменьшения перетоков реактивной мощности.

Особая область телемеханизации управления распределительными сетями — это организация циркулярного телеуправления (ЦТУ), т. е. телеуправления целыми группами потребителей с целью снижения энергопотребления в часы пик (выравнивание графика нагрузки путем отключения на это время некоторых потребителей, например термоаккумулирующей нагрузки - бойлерных водоподогревателей и т. п.), переключения многотарифных счетчиков, управления уличным освещением и т. п. Важной областью применения ЦТУ может явиться также автоматическая частотная разгрузка (АЧР), т. е. отключение части потребителей соответствующей категории при аварийной снижении частоты в энергосистеме.

Объектами ЦТУ являются выключатели (коммутаторы) нагрузки, рассредоточенные по сети 0,4 (0,22) кВ. Основным, а в большинстве случаев и единственным каналом связи для таких систем является канал тональной частоты, наложенной на промышленную частоту распределительной сети. Эти каналы наиболее экономичны и надежны в эксплуатации, в силу чего они получили наибольшее распространение в системах ЦТУ.

Системы телемеханики (ТМ-35) для управления понизительными питающими подстанциями 35 кВ (и выше) имеют радиальную ("один-один"), либо многоточечную радиальную ("один—ТУ"), либо многоточечную магистральную структуру. В качестве каналов связи используются ВЧ каналы по ВЛ 35, 110, 220 кВ, дуплексные или полудуплексные, а также каналы любых других видов передачи телемеханической информации. Система телемеханики ТМ-35 с многоточечной структурой строится по принципу временного разделения каналов для отдельных КП, имеющих выделенные кодовые адреса. Как правило, все КП подстанций опрашиваются последовательно во времени и при наличии на них новой информации передают ее на ПУ с обозначением своего адреса.

Системы телемеханики для распределительных сетей 10 (6) кВ - ТМ-10 характеризуются большим числом КП, рассредоточенных по территории распределительной сети с малой информационной емкостью. В качестве каналов связи для телемеханизации распределительных сетей 10 кВ используются двусторонние каналы тональной частоты по ВЛ 10 кВ либо радиоканалы УКВ. Одним из основных требований к телеканалам для распределительных сетей является экономия частот, используемых для передачи телеинформации, в данной зоне. Желательно, чтобы для двусторонней передачи информации в зоне одной ПС использовалась одна частота для всех КП (как для тонального канала, так и для радиоканала). Это же требование может распространиться и на все РС-10, обслуживаемые одним ДП РЭС.

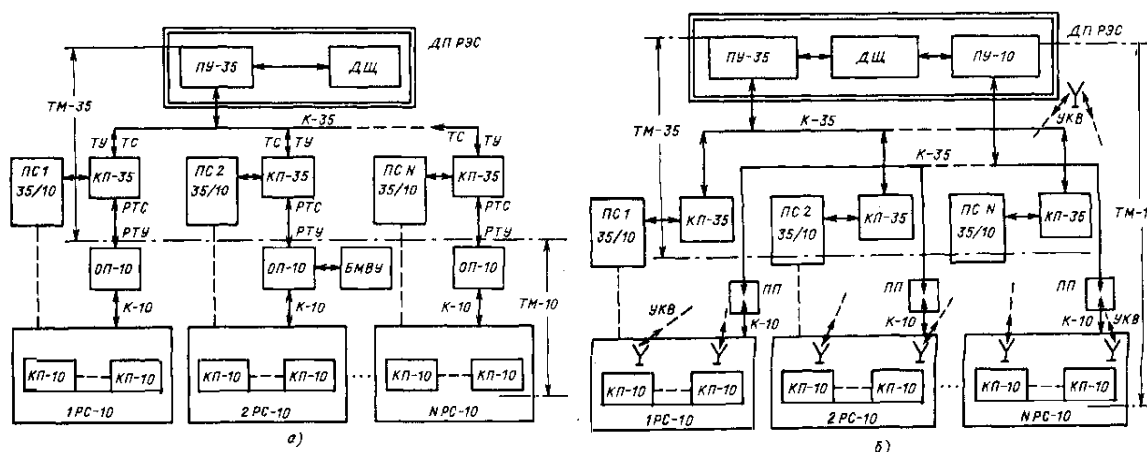


Рисунок 1 – Структуры систем телемеханики для распределительных сетей:
 а - двухуровневая структура ТМ с ретрансляцией сигналов (РТС) и команд (РТУ); б -
 отдельные системы ТМ-35 и ТМ-10;

На рис. 1, а представлена двухуровневая структура, состоящая из системы телемеханики ТМ-35 для телемеханизации питающих подстанций 35 кВ с устройством ПУ-35 на ДП РЭС и систем ТМ-10 с устройствами ПУ (ОП-10) на самих подстанциях 35 кВ. Информация из РС-10 собирается устройствами КП-10 и по каналам К-10 передается на ОП-10, откуда она ретранслируется через КП-35 диспетчеру ДП РЭС. В обратном направлении ретранслируются команды РТУ. При наличии дежурного персонала на ПС 35 команды ТУ непосредственно могут передаваться в сеть РС-10 через блок местного воспроизведения и управления БМВУ, располагаемый в устройстве ОП-10. По описанной схеме в качестве ТМ-10 могут использоваться устройства телекомплекса ТРС-1, а в качестве ТМ-35 — любые устройства общепромышленного назначения (ТМ-120 М, МКТ-3, ГРАНИТ, АИСТ—РС), в качестве каналов связи К-35 — ВЧ каналы по ВЛ 35 кВ, в качестве К-10 — каналы тонального уплотнения по ВЛ 10 кВ аппаратуры АТКС-10.

На рис. 1, б представлена структура с отдельными системами телемеханики ТМ-35 и ТМ-10. Системы работают независимо друг от друга, по отдельным каналам связи. Устройства ПУ обеих систем располагаются на ДП РЭС и работают на общий ДЩ (как показано на рис. 6.1, б) либо на отдельные щиты с мнемосхемами 35 и 10 кВ. В качестве ТМ-35 и К-35 может использоваться та же аппаратура телемеханики и каналов связи, что и в двухуровневой структуре на рис. 6.1, а. В качестве ТМ-10 предполагается использовать аппаратуру телемеханики типа ТРС-1М с расширенной емкостью (по числу обслуживаемых КП) и с введением функций ТИ. В качестве канала связи для ТМ-10 необходим канал с переприемом: от КП-10 до подстанций 35/10 — тональный канал по ВЛ 10, как в случае двухуровневой структуры рис. 6.1, а, далее до ДП РЭС (если ПС не находится на территории ДП РЭС) — переприем ПП по каналу К-35 (ВЧ по ВЛ 35 либо через аппаратуру уплотнения физических телефонных линий связи). Скорость передачи сигналов по К-35 ограничивается скоростью передачи по каналам К-10. При использовании в качестве К-10 тональных каналов по ВЛ 10 кВ эта скорость не превышает 6,25 бит/с.

Литература

1. Забегалов, В. А. Автоматизированные системы диспетчерского управления в энергосистемах / В.А Забегалов, В.Г. Ориов, В.А. Семенов. - Минск: Энергоатомиздат, 1984. - 134 с.
2. Митюшкин К. Г. Телемеханика в энергосистемах / К.Г. Митюшкин. - Минск: Энергия, 1975. – 241 с.

УДК621.3

СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Хитров И.С.

Научный руководитель –старший преподаватель Гапанюк С.Г.

На сегодняшний день всё более широко используются альтернативные источники энергии. Наиболее массово внедряются в энергосистему ветровые и солнечные электростанции. Они способны вырабатывать до нескольких десятков мегаватт электроэнергии. Самое главное их преимущества это теоретически чистая электроэнергия. Но также имеется и значительный недостаток, который не позволяет использовать их как основной источник питания предприятий и домов – это сильная зависимость от погодных условий и как следствие невозможность бесперебойного электроснабжения.

Тем не менее солнечные электростанции можно использовать в коммунально-бытовом секторе, а именно как дополнительный источник питания для частного дома. Это способствует обеспечению надёжного электроснабжения, а также снижению потребления энергии из сети.

Создать такую электростанцию можно двумя путями:

- Изучение материалов, общение с владельцами таких станций, покупка и установка оборудования самостоятельно. Весьма сложный вариант.
- Поручить это дело специализированным фирмам, но это может выйти намного дороже.

Наиболее приемлемым будет совмещение этих двух вариантов. Существует три типа солнечных электростанций подходящих для обеспечения электричеством дома.

Сетевая солнечная электростанция - этот тип электростанции сочетает в себе невысокую стоимость и максимальную простоту эксплуатации. Состоит всего из двух элементов: солнечных панелей и сетевого инвертора. Электричество от солнечных панелей напрямую преобразуется в 220 В или 380 В. Но у неё есть большой недостаток: для работы необходима опорная сеть.

Гибридная солнечная электростанция — этот тип электростанции сочетает в себе достоинства сетевой и автономной электростанций. Состоит из четырёх элементов: солнечные панели, солнечный контроллер, аккумуляторы и гибридный инвертор. Она способна существовать используя свою запасённую энергию, но если погода долгое время неблагоприятная функционирование невозможно.

Автономная солнечная электростанция – этот тип электростанции позволяет жить полностью независимо от внешних электросетей. Она может включать в себя больше четырёх стандартных элементов: солнечные панели, солнечный контроллер, АКБ, инвертор. Дополнительно можно подключать другие источники энергии.

Рассмотрим случай когда нужна солнечная электростанция для обеспечения электроэнергией дома в часы отключения основной сети. Из трёх типов выбрать стоит гибридную солнечную электростанцию. Она также позволит сократить потребление электроэнергии из основной сети. Самый главный вопрос: какой

мощности нам нужна электростанция? Всё зависит от того какое оборудование вам нужно питать при отключении основной сети. Для более-менее комфортного существования нужно чтобы работали: холодильник, электроплита, бойлер и освещение. Холодильнику средней мощности необходимо в сутки 0.76 кВт*ч, электроплита мощностью 5 кВт, при 3-х разовой готовке по 20 минут, потребит 5 кВт*ч, бойлеру необходимо около 2 кВт*ч. С освещением немного сложнее: предположим у нас в доме имеется 5 комнат (в каждой по 4 лампочки), а так же ванна и туалет (по одной). Получается 22 лампочки, каждая лампочка в среднем потребляет 50 Вт. Работать они будут не полный день и не все сразу, поэтому необходимую им электроэнергию посчитаем по формуле.

$$W = P * N * t * k, \quad (1)$$

где P – мощность одной лампочки;

N – количество лампочек;

t – время работы, примем 4 часа;

k – поправочный коэффициент, примем 0,6.

Получим следующую необходимую мощность:

$$W = 0,050 * 22 * 4 * 0,6 = 2,64 \text{ кВт} * \text{ч}$$

Таким образом нам необходимо обеспечить 10,4 кВт*ч за сутки. Сутки берём потому что считаем потребитель 3 категории – допускается перерыв в энергоснабжении до 24-х часов.

Получается для обеспечения комфортного существования в доме при отсутствии электричества в основной сети нам необходима солнечная электростанция с АКБ ёмкостью 870 А/ч и напряжением 12 В. Сама же станция будет мощностью 1 кВт. Стоимость такой электростанции будет примерно 5000 руб.

Литература

1. Дюсьмикеев А.Б. Базовые принципы солнечной энергетики для проектирования и строительства солнечных электростанций / А.Б. Дюсьмикеев. – Минск: ПРООН/ГЭФ, 2016. – 79 с.
2. Стройдвор инженерные системы и сети в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://strojdvor.ru/elektrosnabzhenie/kak-vybrat-nakopitel-elektricheskoy-energii-dlya-chastnogo-doma/>. – Дата доступа 11.10.2020.

УДК628.477.6+ 621.31:658.26

**ДЕМОНТАЖ И ПОСЛЕДУЮЩАЯ УТИЛИЗАЦИЯ
ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Хитров И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

С каждым годом на земле становится всё больше людей, а следовательно потребностей в комфортном существовании. Сегодня сложно представить себе уютную жизнь без электроэнергии. Практически вся промышленность её потребляет (станки, освещение, двигатели и т.д.), коммунально-бытовой сектор (освещение, различные электроприборы) и транспорт (электромобили), который в последние годы активно развивается. Стабильное электроснабжение этих потребителей возможно благодаря различного рода устройствам, основные из которых: генератор, трансформатор и линии электропередач.

Как мы знаем всё это не может служить нам вечно, оборудование изнашивается и устаревает. С таким оборудованием нужно что-то делать. Помимо этого сегодня остро стоит вопрос об экологии. Поэтому рассмотрим вопрос о демонтаже и утилизации некоторых основных элементов энергосистемы.

Утилизация трансформаторов на свалку является нецелесообразным решением, ввиду того что большая часть может пойти на переработку и использоваться повторно. Сразу невозможно сказать, сколько будет стоить утилизация трансформаторов, поскольку на это влияет множество факторов — тип обмотки и сердечника, тип изоляции, конструктивные особенности. Демонтаж трансформатора (рисунок 1) состоит из следующих этапов:

- Отключение от сети
- Демонтаж съемных модулей, креплений и элементов фундамента
- Дефектовка демонтируемого оборудования
- Разборка оборудования и маркировка частей оборудования
- Упаковка в транспортировочную тару и консервация
- Погрузка и крепление оборудования для дальнейшей транспортировки

Согласно законодательству и нормам безопасности, сдать на металлолом трансформатор с последующей утилизацией необходимо сразу после поломки, которую уже нельзя устранить. Связано это с различными причинами, в том числе с тем, что совтол хоть и не взрывоопасен, но очень токсичен, а значит и не должен храниться на производстве или складе. Большая часть элементов увозиться на переработку, остальное же всё-таки отправляется на свалку.



Рисунок 1 – Демонтаж трансформатора 115/10.5 кВ

Линии электропередачи не являются исключением и зачастую нуждаются в демонтаже (рисунок 2) чаще чем трансформаторы. Причин для этого может быть много – от естественного устаревания до аварийных ситуаций. Для этого формируется свой набор спецтехники и подготавливается соответствующая рабочая группа. Подобный подход гарантирует достижение идеальных результатов в максимально сжатые сроки.[1]



Рисунок 2 – Демонтаж линий электропередач 110 кВ и 35 кВ

Процесс демонтажа линий электропередачи проводится в несколько этапов, причем соблюдение описанной в плане последовательности гарантирует достижение нужного результата без задержек и лишних затрат. Вся работу традиционно можно разделить на 4 шага:

Подготовка. Самый ответственный этап, во время которого подготавливаются пути для техники, согласовывается отключение точки ЛЭП от электричества, демонтируются провода и формируется пакет документов.

Разрушение. При помощи спецтехники и ручного инструмента производится разрушение конструкции. Отдельное внимание всегда уделяется фундаменту, потому что его заглубление может быть достаточно небольшим, а может достигать даже 3-4 метра.

Уборка. Весь мусор собирается на выбранной территории для последующей погрузки в самосвал и транспортировки.

Утилизация. В большинстве случаев линии электропередач разрушаются полностью и потом утилизируются в специально отведенных местах.[3]

Также перед началом сноса ЛЭП, нужно разобраться с некоторыми формальностями. Чтобы всё было по закону собирается пакет документов и подается в соответствующие государственные организации. Только после этого можно получить разрешение на отключение электроэнергии в определенное время для возможности обрезки проводов.

Пару слов также стоит сказать и утилизации конденсаторов, которые применяются в качестве компенсирующих устройств. Долгое время выпускались конденсаторы с применением полихлорированныхбуфенилов. Они относятся к опасным для окружающей среды веществам. Основной способ их утилизации это захоронение. Но помимо него есть и другие варианты: термический метод, химический метод и биологический метод, но они более дорогие. Любой из них практически состоит из следующих этапов:

- Слив и утилизация основной массы совтола.
- Промывка конденсатора спецрастворителем.
- Извлечение и утилизация секций конденсатора в захоронении.

- Утилизация спецрастворителя.
- Дополнительная обработка корпуса от следов совтола.
- Утилизация корпуса конденсатора.[2]

Таким образом мы видим, что демонтаж и последующая утилизация трансформаторов, линий электропередачи и частично конденсаторов весьма трудоёмкий и непростой процесс. Он требует высококвалифицированного персонала и специальной техники. Часть оборудования не может быть использована повторно, а некоторая опасна для окружающей среды, что создаёт проблему в виде создания отчуждённой территории для захоронения. Всё это неблагоприятно сказывается на экологии и на эту проблему стоит обратить внимание сейчас, чтобы не иметь проблем в будущем.

Литература

1. Справочник по строительству и реконструкции линий электропередач напряжением 0,4-750 кВ. – Е.Г. Гологорский, А.Н. Кравцов, Б.М. Узелков. – М.:ЭНАС, 2007.- 560с.
2. Эко архитектура [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttps://eko-a.ru/utilizatsiya_otkhodov/otkhody_khimicheskogo_proiskhozhdeniya/utilizacija_sovtolovih_transformatorov. – Дата доступа 18.10.2020.
3. Прайд группа компаний[Электронный ресурс]. – Режим доступа<https://gk-pride.ru/snos-i-demontaz-lep>. – Дата доступа 19.10.2020.

УДК621.3

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И
АВТОМАТИКИ В ЗАЩИТЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6–10 КВ**

Шавкун О.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

На территории Республики Беларусь весьма распространены линии напряжением 6–10 кВ. Они зачастую используются в питающих и распределительных сетях городских и сельских потребителей. В результате перекрытия проводов, проникновения посторонних предметов на токоведущие части, пробоя изоляции в кабельных и воздушных линиях электропередачи 6–10кВ могут возникнуть короткие замыкания. Их различают на однофазные, междуфазные, многофазные на землю.

Надежным средством защиты является применение устройств релейной защиты. Релейная защита налаживает согласованность действий устройств, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, которое достигается за счет параметров срабатывания.

При выборе способа защиты линии важную роль играет режим нейтрали. Обычно в сетях напряжением 6–10 кВ используют изолированную нейтраль или заземленную через дугогасящий реактор (ДГР). В этих сетях предусматривается релейная защита от многофазных и однофазных замыканий.

Защиту от многофазных КЗ в сетях 6–10 кВ сельской местности выполняют в двухфазовом исполнении, где должно соблюдаться условия установки трансформаторов тока на одинаковые фазы (обычно это фазы «А» и «С»). Количество используемых реле зависит от требований чувствительности и надежности. Обычно используется двухрелейное исполнение, реже трехрелейное.

Самым простым и наиболее распространенным вариантом защиты является максимальная токовая защита (МТЗ). Она обеспечивает защиту линий от многофазных КЗ. Принцип действия довольно прост: защита реагирует на увеличение тока защищаемой линии. Срабатывание происходит, когда аварийный ток достигает значения уставки, тем самым отключая поврежденную линию от энергосистемы.[1] Важно, чтобы ток срабатывания соответствовал условию:

$$I_{\text{нагр.макс}} < I_{\text{сз}} < I_{\text{к.мин.}} \quad (1)$$

где $I_{\text{нагр.макс}}$ -максимальный ток нагрузки, А.

$I_{\text{сз}}$ -ток срабатывания МТЗ, А.

$I_{\text{к.мин.}}$ -минимальный ток короткого замыкания, А.

МТЗ считается защитой с относительной селективностью. Селективность обеспечивается выдержкой времени по ступенчатому принципу. Чем ближе защита к источнику питания, тем больше время срабатывания. Разность междусмежными защитами — это степень селективности.[2]

Например, при замыкании в точке К1 быстрее всех сработает защита на участке D, а при повреждении в точке К2 — в первую очередь сработает защита на участке с. (рис. 1)

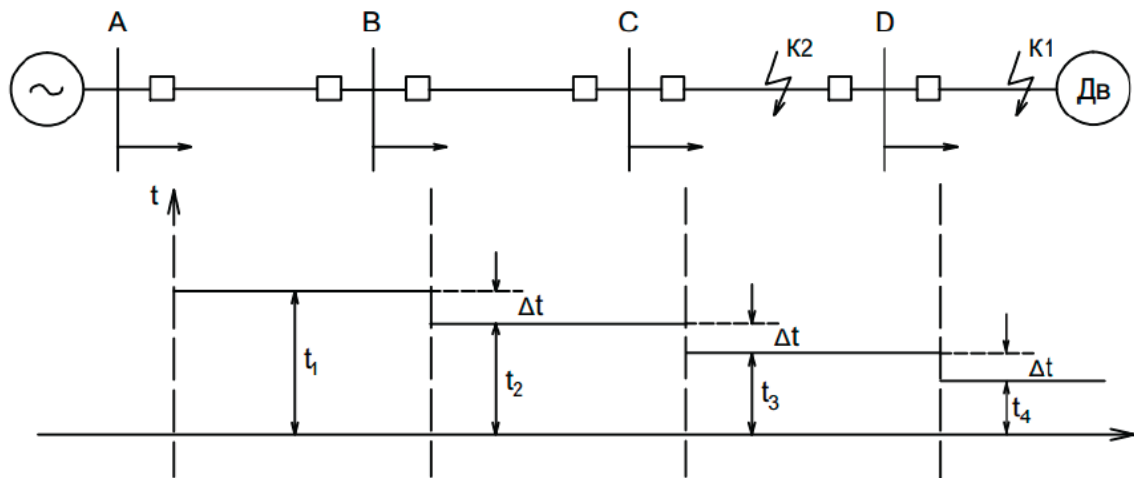


Рисунок 1 – Максимальные токовые защиты в радиальной сети с односторонним питанием. t_1, t_2, t_3, t_4 — время срабатывания защит на участках A, B, C, D соответственно; Δt — ступень селективности.

МТЗ часто применяют вместе с токовой отсечкой (ТО) — двухступенчатая защита. Применяется обычно токовая отсечка без выдержки времени и устанавливается в начале защищаемого участка. Токовая отсечка с выдержкой времени может быть применена в качестве защиты ближнего резервирования, ее уставка по току выбирается из условия охвата шин нижестоящей подстанции, уставка по времени отстраивается от ТО смежной линии.

В одиночных линиях с односторонним питанием первой ступенью служит — токовая отсечка, а второй — максимальная токовая защита с зависимой или независимой выдержкой времени.

Трехступенчатая защита применяется редко. Она состоит из:

- первой ступени — токовой отсечки без выдержки времени.
- второй ступени — токовой отсечки с выдержкой времени.
- третьей ступени — МТЗ.

Первая ступень защиты предназначена для отключения без выдержки времени КЗ в начале защищаемой линии. Вторая ступень с выдержкой времени порядка 0,5 сек. защищает конец линии. Выдержка времени 0,5 сек. необходима для обеспечения селективности с первыми ступенями защит (токовыми отсечками без выдержки времени) следующих линий. [3]

В электрических сетях с двухсторонним питанием и в кольцевых сетях обычные токовые защиты не могут действовать селективно. Например, в электрической сети с двумя источниками питания, где выключатели и защиты установлены с обеих сторон каждой линии, при повреждении в точке К1 (рис. 2) должны выполняться следующие условия выбора выдержки времени срабатывания МТЗ:

$$t_{с32} < t_{с33} < t_{с34} < t_{с35} < t_{с36} \quad (2)$$

При КЗ в точке К2:

$$t_{сз1} < t_{сз2} < t_{сз3} \quad \text{и} \quad t_{сз4} < t_{сз25} < t_{сз6} \quad (3)$$

При КЗ в точке К3:

$$t_{сз1} < t_{сз2} < t_{сз3} < t_{сз4} < t_{сз5} \quad (4)$$

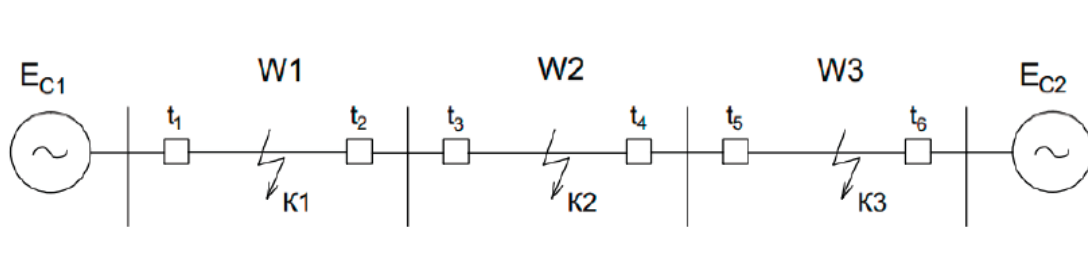


Рисунок 2 – Электрическая сеть с двумя источниками питания

Эти требования противоречивы и не могут быть выполнены

в одной системе защит. Для обеспечения селективного действия токовых защит в этих условиях необходимо использовать дополнительный признак, характеризующий расположение места повреждения относительно защит. В качестве этого признака можно использовать направление мощности в месте установки защиты. Для того чтобы обеспечить селективное действие МТЗ, нужно разрешить действовать только тем защитами, направление мощности короткого замыкания в месте установки, которых — от шин к линии. Тогда выполнять согласование по времени срабатывания необходимо только для тех защит, действие которых разрешено.

Защита часто строится на основе реле направления мощности. Однофазные замыкания, согласно [4] не является аварией. Потребители, которые включены на междуфазные напряжения продолжают нормально работать. Это дает возможность выполнять защиту от замыкания на землю на сигнал. Однако, длительная работа сети при замыкании одной фазы на землю не допустима из-за возможности нарушения междуфазной изоляции в месте повреждения и перехода однофазного замыкания в многофазное. Опасность нарушения изоляции может возникать не только в результате длительности тока при КЗ, но и его величиной. Поэтому уставки защит выбирают таким образом, чтобы они были больше величин токов ОЗЗ. В зависимости от напряжения и вида опор линий токи бывают разные.

Таким образом, допустимые токи на землю обычно меньше рабочих токов защищаемого объекта. В связи с этим используют токовую защиту нулевой последовательности. А именно, линию включают с реле на фильтр тока нулевой последовательности, которая срабатывает при прохождении по поврежденному участку тока нулевой последовательности (рис. 3).

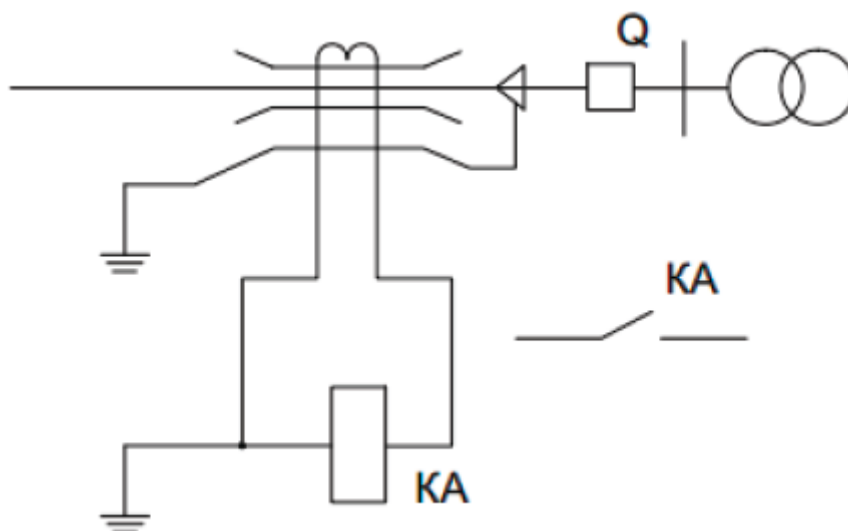


Рисунок 3 – Включение реле на фильтр нулевой последовательности

Если в установившемся режиме собственный емкостный ток линии в сетях с изолированной нейтралью равен току ОЗЗ, то в этом случае применяют направленную защиту нулевой последовательности или устройство сигнализации, показывающее величину и направление тока КЗ.[5]

Еще одной разновидностью защит, применяемых в сетях напряжением 6–10 кВ, является автоматическое повторное включение (АПВ). Ее функцией - включение защищаемой линии при неустоявшихся КЗ. Например, ветка дерева, растущего вблизи ВЛ, может временно коснуться одной фазы линии. Во избежание многократных включений АПВ выполняется на однократное или двукратное включение. На третий раз включение происходит вручную оперативным персоналом.

Помимо приведенных существуют еще множество видов защит, применяемых в данных сетях. Их выбор определяется требованием надежности, режимом работы и разветвленностью.

Литература

1. Андреев, В.А. — Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учеб. для вузов по спец. «Электроснабжение» —3-е изд, перераб. и доп. — М.: Высшая шк., 1991. —496с.
2. Булычев А. В., Наволочный А. А. — Релейная защита распределительных сетей в примерах и задачах с решениями: учеб. пособие — Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2010. — 202 с.
3. Кожин А. Н. Релейная защита линий 3–10 кВ на переменном оперативном токе. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1971. -134 с.
4. Правила устройства электроустановок. Издание 7-е, 2017.
5. Чернобровов, Н. В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1971. - 624 с.

УДК 621.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЕЙ С БУМАЖНО-ПРОПИТАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Шелест М. В.

Научный руководитель – д.т.н, профессор Короткевич М.А.

В настоящее время на смену кабелям с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ) приходят кабельные изделия из сшитого полиэтилена (СПЭ).

Из опыта эксплуатации кабелей с БПИ было выявлено, что повышение их пропускной способности возможно при максимальном увеличении сечения жил и уровней номинальных напряжений. Однако, рост номинального напряжения приводит к усложнению тепловых режимов эксплуатации из-за увеличения толщины изоляционного слоя и, как следствие, происходит рост диэлектрических и активных потерь, а также потерь в металлических оболочках. Основными причинами, препятствующими дальнейшему использованию кабелей с бумажной изоляцией, являются [1]:

- сложность монтажа и большие эксплуатационные затраты;
- существенные диэлектрические потери в изоляции и низкая пропускная способность из-за ограничений температурного режима;
- высокие требования к квалификации монтажного и эксплуатационного персонала.

Чтобы исключить вышеуказанные негативные факторы, применяют кабели с пластмассовой изоляцией, что позволяет существенно повысить пропускную способность кабельных линий. Основания, способствующие внедрению кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- увеличение предела передаваемой мощности;
- повышения эксплуатационной надежности;
- снижения стоимости монтажа, а также эксплуатационных издержек.

В процессе длительной эксплуатации надежность кабелей СПЭ связана с интенсивностью старения изоляции. На данный момент установлено, что старение полиэтилена в условиях воздействия электрического поля зависит от наличия неоднородностей в изоляции, которые возникают как в процессе производства кабеля, так и в самом изоляционном материале в его исходном состоянии. Если в полимерной изоляции кабеля существуют неоднородности, то в процессе эксплуатации в этой изоляции начинают развиваться проводящие каналы, известные как триинги. С целью уменьшения вероятности возникновения триингов проводят следующие мероприятия:

- исключение попадания пыли в полиэтилен как при его изготовлении, так и при транспортировке, загрузке и экструзии;
- использование для сшивки полиэтилена беспаровой среды;
- обеспечение достаточно плавного охлаждения кабеля, выходящего из пресса (наименьшее количество полостей в изоляции получается при охлаждении кабеля под давлением).

На основании выявленных достоинств и недостатков, проведем сравнительный анализ изоляций БПИ и СПЭ с целью выявления наиболее подходящего типа кабеля для длительной эксплуатации.

1 Кабели сбумажно-пропитанной изоляцией

Кабели БПИ (рисунок 1) состоят из бумажного слоя со специальной пропиткой, которая является диэлектриком. Для более долгосрочной эксплуатации бумажный слой необходимо поддерживать в сухом состоянии, поэтому в конструкцию внедряют дополнительную оболочку из металла. С целью защиты кабеля от повреждений в процессе монтажа и эксплуатации в его состав включают стальные ленты. При изготовлении кабеля используется секторная форма жил, благодаря чему уменьшается диаметр изделия.

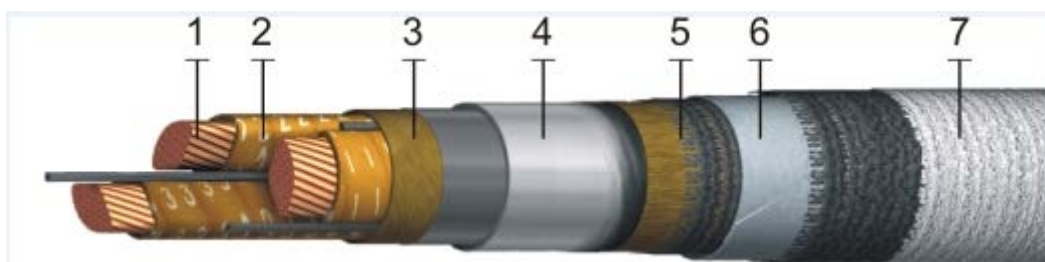


Рисунок 1 – Кабель с бумажно-пропитанной изоляцией:

1 - токопроводящие жилы; 2 - изоляция; 3 - поясная изоляция; 4 - металлическая оболочка; 5 - подушка под броню; 6 - стальная броня; 7 - наружный защитный покров

Несмотря на все достоинства, существуют и недостатки. Данный тип кабеля не прокладывают на вертикальных участках, так как пропитка стекает и кабель постепенно разрушается, в результате чего период эксплуатации снижается.

2 Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена

Отличительной чертой СПЭ-кабелей (рисунок 2) является принципиально новый вид изоляции – сшитый полиэтилен. Она позволяет сохранить электрические и механические параметры при высоких температурах (до 130°C).

Данный вид изоляции имеет следующие преимущества:

- более долгий срок эксплуатации;
- сниженные требования к монтажу;
- более высокая термическая стойкость;
- высокая пропускная способность кабеля.

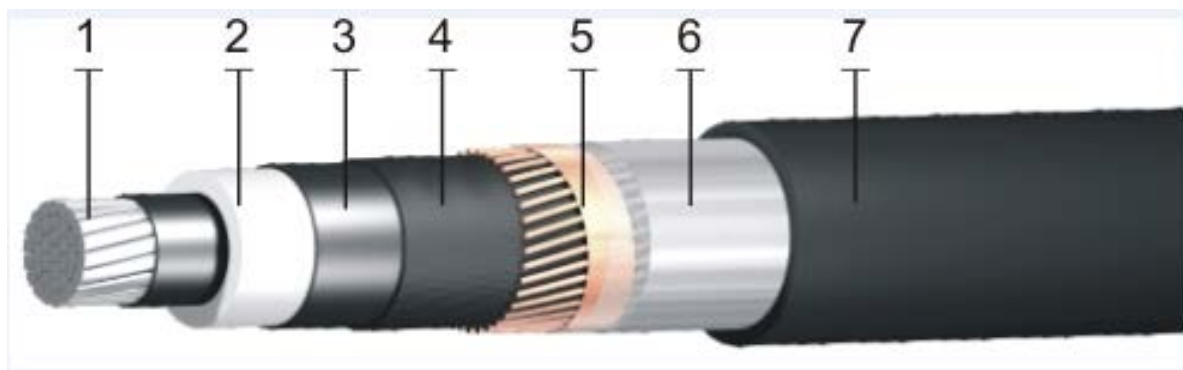


Рисунок 2 – Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- 1 - токопроводящие жилы; 2 - внутренний полупроводящий экран; 3 - изоляция;
- 4 - наружный полупроводящий экран; 5 - металлический экран; 6 - алюмополимерная лента;
- 7 - наружная оболочка

На ряду с вышеперечисленными преимуществами кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена существует один весомый недостаток – высокая цена, которая обусловлена сложностью процесса производства.

3 Сравнительная характеристика кабелей

Основное преимущество пластмассовой изоляции перед бумажной – это низкая повреждаемость. По эксплуатационным данным процент электрических пробоев кабелей с СПЭ на 2-3 порядка ниже, чем кабелей с БПИ.

С целью выявления наиболее лучшего варианта для эксплуатации проведем сравнение технико-экономических показателей обоих видов кабелей на примере кабеля с БПИ АОСБ 3х150-35 кВ и одножильного кабеля с СПЭ изоляцией 3хАПвП 1х150/25-35 кВ (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики кабелей 35 кВ.

Параметры сравнения	Кабель с бумажной изоляцией АОСБ 3х150-35 кВ	Одножильный кабель с СПЭ изоляцией 3хАПвП 1х150/25-35 кВ
Сечение жил, кв. мм ²	150	150
Ток нагрузки при прокладке в земле, А	250	350
Максимально допустимый 1-сек ток КЗ, А	7.58	14.2
Минимальный радиус изгиба, м.	1.45	0.67
Масса, кг/км	3044	1144×3
Допустимая разница уровней, м	15	не ограничена
Сравнительная стоимость, %	100	105

Из таблицы видно, что стоимость кабеля с бумажной и полиэтиленовой изоляцией приблизительно равны. Однако, кабель с СПЭ имеет нагрузочную способность на 40% выше по сравнению с кабелями с БПИ [3].

Исходя из приведенного сравнения можно сделать выводы:

- кабель с пластмассовой изоляцией рекомендуется использовать, когда

кабель с бумажной изоляцией максимального сечения не проходит по пропускной способности, так как пропускная способность полиэтиленового кабеля выше и максимальное сечение жилы может достигать 800 мм².

- если на трассе прокладки имеется разница уровней, лучшим вариантом для использования будет кабель с изоляцией из СПЭ.

Таким образом, на основании вышеизложенного следует, что применение в кабельной технике изоляционных материалов с улучшенными диэлектрическими и тепловыми свойствами позволяет существенно повысить пропускную способность кабельных линий и за счет этого увеличить надёжность электроснабжения потребителей.

Литература

1. Булатова В.М., Амирова С.С., Чекунов Н.И. Современные проблемы электроснабжения компьютерных и информационных систем // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. - № 18. – С. 245 – 249
2. Кадомская К. П., Лавров Ю. А., Рейхерд А. А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. Изд-во НГТУ, Новосибирск, 2004. 368с.
3. Лавров К. Ю. Применение кабеля с изоляцией из шитого полиэтилена. [Электронный ресурс] / К. Ю. Лавров. Режим доступа: [http:// www.electrocabel.ru/sshitypolietilen](http://www.electrocabel.ru/sshitypolietilen), свободный
4. Ларина, Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 464 с.

УДК 621.3

**РАЗБИВКА КОТЛОВАНОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ
ФУНДАМЕНТОВ ИЛИ ОПОР**

Дюров В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Первым делом при установке фундаментов опор производят разбивку котлованов, т.е. отмечают на трассе воздушной линии электропередачи ограниченные площади, где требуется разрабатывать грунт под котлованы, а также основные разбивочные оси: ось воздушной линии электропередачи и оси траверс опор. Для разбивки котлованов применяют теодолит, стальную мерную ленту или стальную рулетку. Теодолит – геодезический инструмент, предназначенный для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов и определения направлений. Для фиксации разметки на трассе применяют пикетные знаки. Чаще всего применяют деревянные колышки. Основные разбивочные оси закрепляют на местности с помощью кольев длиной 600 мм и диаметром около 70 мм. Также для некоторого вспомогательного обозначения применяют металлические шпильки длиной 200 мм и диаметром 10-12 мм.

Существует необходимость разбивки котлованов для одностоечных и двухстоечных железобетонных опор. Центры пикетов являются центрами котлованов для установки одностоечных железобетонных опор. Пикет – отмеченная с помощью кольев точка на местности, указывающая место расположения опоры. Достаточным условием для разбивки котлованов под одностоечные железобетонные опоры является наличие пикетных знаков и отмеченной на местности трассы воздушной линии. Для расположения траверс на местности также необходимо отметить на местности ось перпендикулярную к воздушной линии. Первым шагом является установка теодолита в центр пикета (рис. 1, точка 1). Затем на соседних пикетах устанавливаются вешки. Вешка – прямая деревянная палка или металлическая трубка длиной 2-3 м с заостренным нижним концом для установки в грунт. Следующим шагом является определение оси трассы воздушной линии электропередачи А-А и оси траверс Б-Б, которая, как сказано выше, перпендикулярна к оси воздушной линии. Закрепление разбивочных осей на местности производится с помощью кольев по оси воздушной линии (точки 2-2) и по оси траверсы (точки 3-3).

Другим способом определения оси трассы является применение стальной рулетки. В данном методе вдоль оси воздушной линии в направлении пикета с установленной вешкой из точки 1 откладывается расстояние равное 4 м (точка 2' на рис.1). Далее в этой точке устанавливается колышек. Следующим шагом из точки 1 по предполагаемому направлению траверс откладываются в обе стороны расстояния равные 3 м (точки 3') и фиксируются временными колышками. Далее проверяется расстояние между точками 2' и 3'. Если оно равно 5 м то точки 3' окажутся на оси траверс. Процесс разбивки котлованов для железобетонных двухстоечных опор несколько сложнее. Сначала как и в случае с одностоечными опорами на местности отмечают ось трассы воздушной линии и ось траверс. Затем вдоль оси трассы в обе стороны от центра пикета откладываются

расстояния, равные половине расстояния между центрами нижней части стоек двухстоечной опоры. Полученные точки фиксируются кольшками (точки 4 на рис. 1), которые и являются центрами котлованов для стоек двухстоечной опоры.

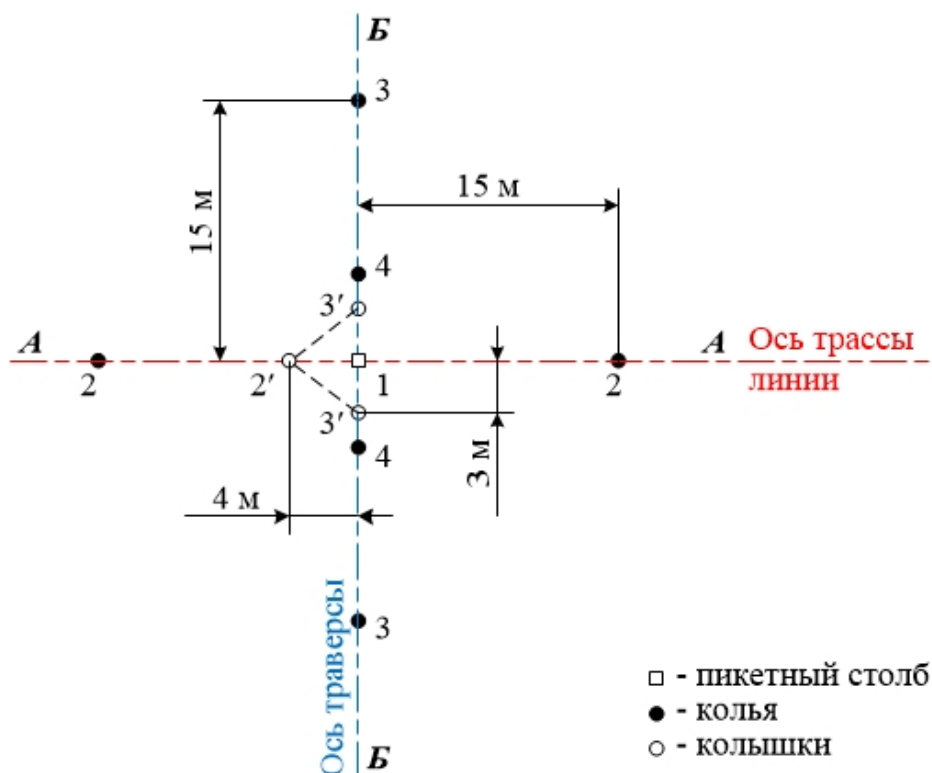


Рисунок 1 – Схема разбивки котлованов для железобетонных одностоечных и двухстоечных промежуточных опор

Трасса воздушных линий электропередач не является прямой линией. Существует необходимость применения анкерно-угловых опор в тех местах, где трасса поворачивает. Главной особенностью установки анкерно-угловых опор является расположение оси траверс по биссектрисе внутреннего угла поворота линии β (рис. 6.2), определяемого по выражению:

$$\beta = 180 - \alpha, \tag{1}$$

где α – угол поворота трассы линии, град.

Теодолит легко позволяет определить направление биссектрисы внутреннего угла поворота трассы. Внутренний угол β измеряют между вешками установленными по трассе воздушных линий до и после поворота основной трассы, а затем делят его пополам, фиксируя кольшком (точка 2 на рис. 2). При соединении точек 1 и 2 получим прямую, которая и является осью траверс.

Также существует способ определения оси траверс с помощью мерной ленты или рулетки. Для начала по оси трассы воздушной линии в обе стороны откладывают одинаковые расстояния, к примеру, 8 метров (точка 3 на рис. 2). Затем измеряют расстояние между точками 3 и делят его пополам и фиксируют

точку на местности(точка 4 на рис. 2). При соединении точки 4 с 1 получается прямая, которая как раз и образует ось траверс.

В результате получим некоторые отмеченные на местности точки. 1– центр котлована для установки одностоечной анкерно-угловой опоры. 5 – точки являются центрами котлованов установки двухстоечной анкерно-угловой опоры, которые получают при откладывании по оси траверс половины проектного расстояния между центрами нижней части стоек двухстоечной опоры.

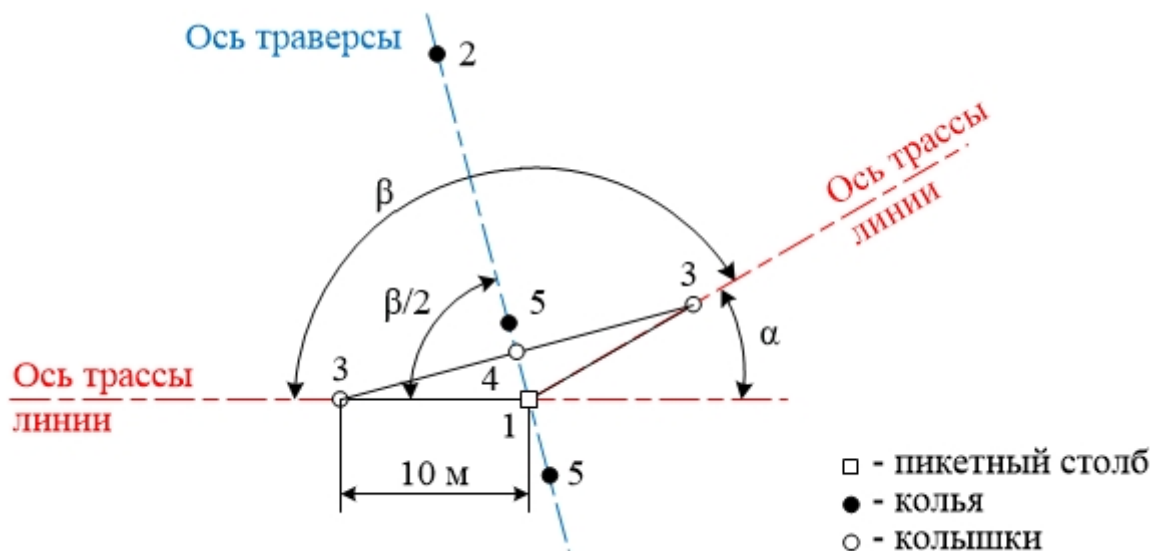


Рисунок 2 – Схема разбивки котлованов для железобетонных одностоечных и двухстоечных анкерно-угловых опор

Далее рассмотрим разбивку котлованов для металлических опор. Самые распространенные из них – это решетчатые четырехгранные металлические опоры. Они имеют прямоугольную или квадратную базу и опираются на четыре подножка, которые необходимо равномерно разместить относительно пикета 1 (рис. 3).

Очевидно, что разбивка котлованов под подножки решетчатых металлических опор требует более высокой точности, чем котлованов для одностоечных и двухстоечных железобетонных опор. Однако также как и в случае одностоечных и двухстоечных опор применяют теодолит. Сначала его устанавливают в центр опоры. Затем с помощью кольев выполняют разбивку и фиксацию на местности оси вдоль трассы линии А-А и оси траверс Б-Б перпендикулярную оси трассы линии в точках 2 и 3 соответственно (рис. 3). Далее вдоль оси трассы линии от центра опоры откладывают по половине проектного расстояния между центрами подножников $a/2$ и фиксируют колышками в точках 2'. Следующим шагом происходит перенос теодолита в точки 2' для закрепления на местности осей В-В и Г-Г, которые перпендикулярны к оси трассы линии и параллельны оси траверс Б-Б. Затем в обе стороны вдоль полученных осей от точек 2' в обе стороны откладывают по половине проектного расстояния между центрами подножников $b/2$ перпендикулярно к оси трассы линии. Полученные точки являются центрами

подножников и их фиксируют с помощью кольев, а затем кольшками размечают верхний и нижний контуры котлованов.

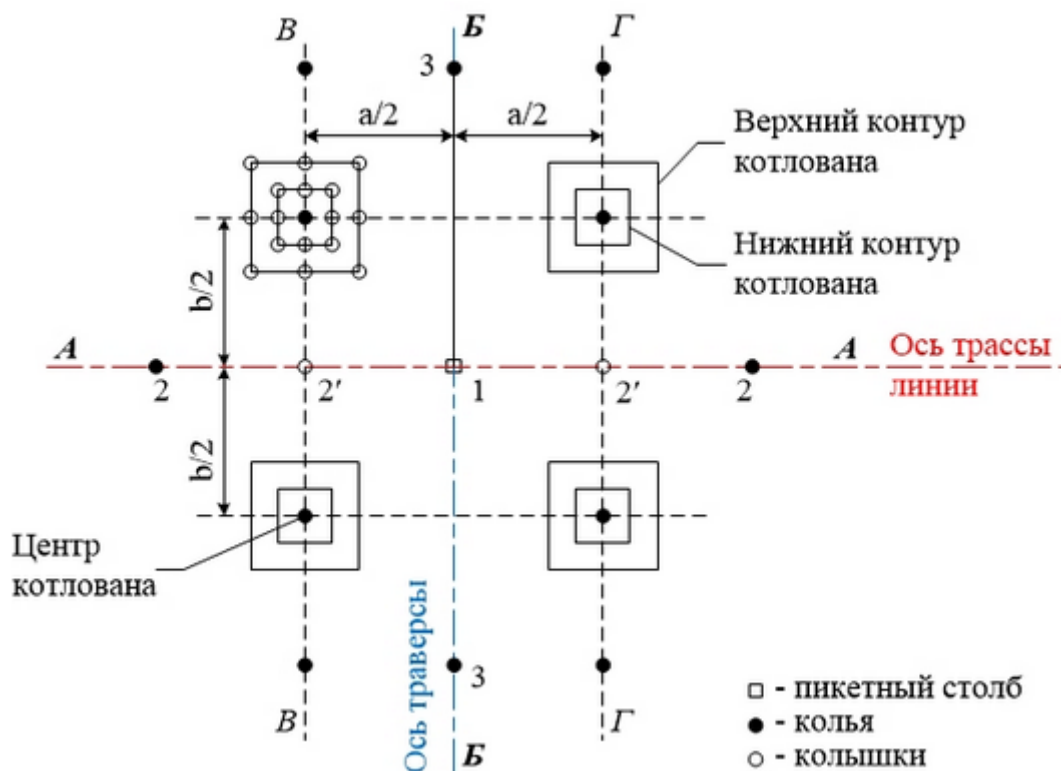


Рисунок 3 – Схема разбивки котлованов для решетчатых металлических промежуточных опор

При разбивке котлованов для решетчатых металлических анкерно-угловых опор (рис. 4) также производят с помощью теодолита. Сначала фиксируют на местности ось траверс (Б-Б) аналогично рис. 2.

Затем по направлению перпендикулярному к оси траверс фиксируют линию А-А. Далее в обе стороны от пикета 1 вдоль линии А-А откладывают половину проектного расстояния между центрами подножников $a/2$, фиксируя на местности кольшками (точки 2'). Далее производят все операции аналогично разбивке котлованов для промежуточных решетчатых металлических опор, т.е. фиксируют оси В-В и Г-Г параллельные оси траверс и на них с помощью кольев отмечают центры котлованов, откладывая от точки 2' вдоль этих осей половину проектного расстояния между центрами подножников $b/2$.

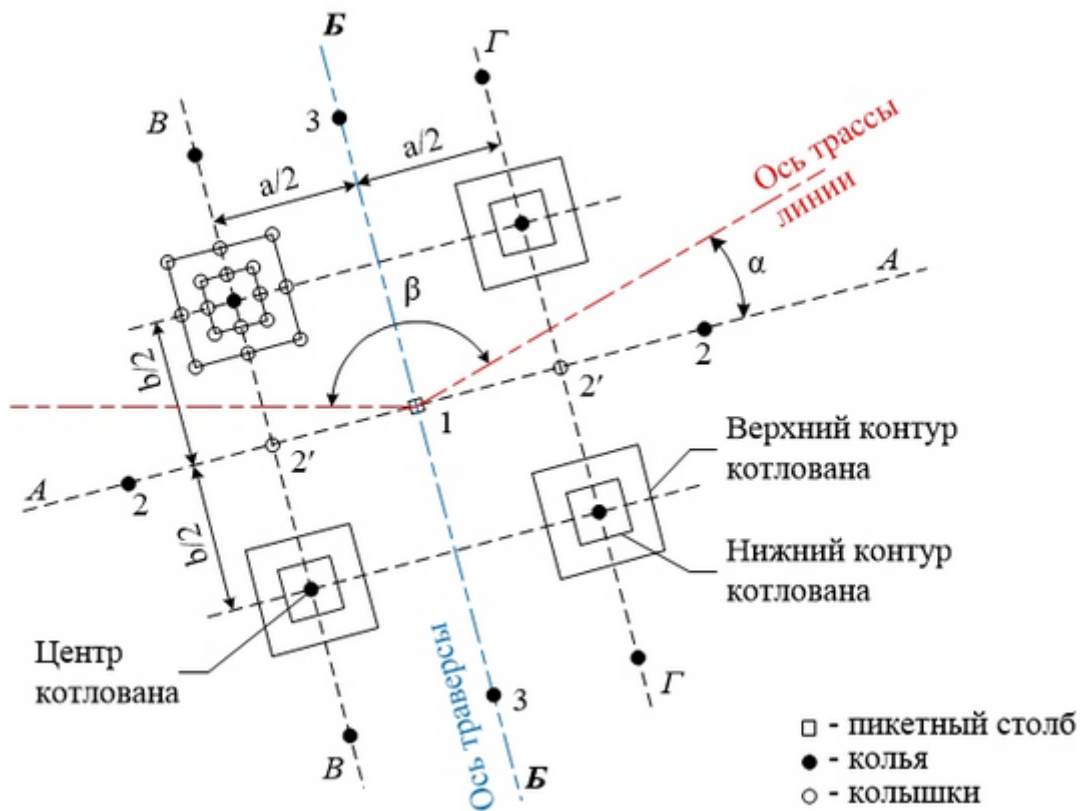


Рисунок 4 – Схема разбивки котлованов для решетчатых металлических анкерно-угловых опор

Таким образом в данном докладе представлены основные способы разбивки котлованов для основных видов железобетонных и металлических опор.

Литература

1. Разбивка котлованов для фундаментов опор ВЛ[электронный ресурс] Режим доступа <https://elektromontagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page411>. Дата доступа 24.10.2020

УДК 621.3

СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА СТОРОНЕ 110 КВ

Барановский П. Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

При выборе схем распределительных устройств подстанции должны соблюдаться следующие требования:

- обеспечивать надежность электроснабжения потребителей подстанции и перетоков мощности по межсистемным или магистральным связям в нормальном и в послеаварийном режимах;
- учитывать возможность поэтапного развития сети;
- учитывать требования противоаварийной автоматики;
- обеспечивать возможность проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах схемы без отключения соседних присоединений.

В соответствии с этими требованиями разработаны типовые схемы распределительных устройств подстанций, которые должны применяться при проектировании подстанций.

Нетиповая схема должна быть обоснована технико-экономическим расчетом.

В настоящее время к простейшим схемам, которые могут использоваться на подстанциях с высшим напряжением (ВН) 110 кВ, относится блочная схема «трансформатор-линия с выключателем» (рисунок 1). Данная схема применяется для подстанций, подключенных к ответвлениям от линий. Схемы с отделителями и короткозамыкателями в связи с конструктивными недостатками этих аппаратов и отрицательным воздействием их работы на выключатели смежных подстанций при коротких замыканиях на вновь сооружаемых подстанциях не используются.

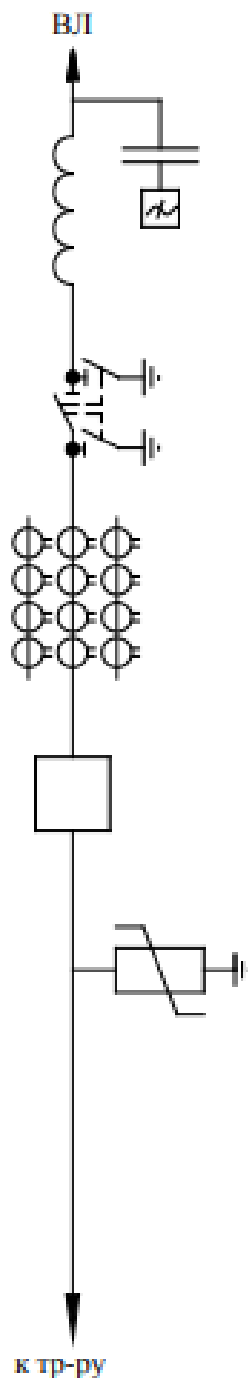
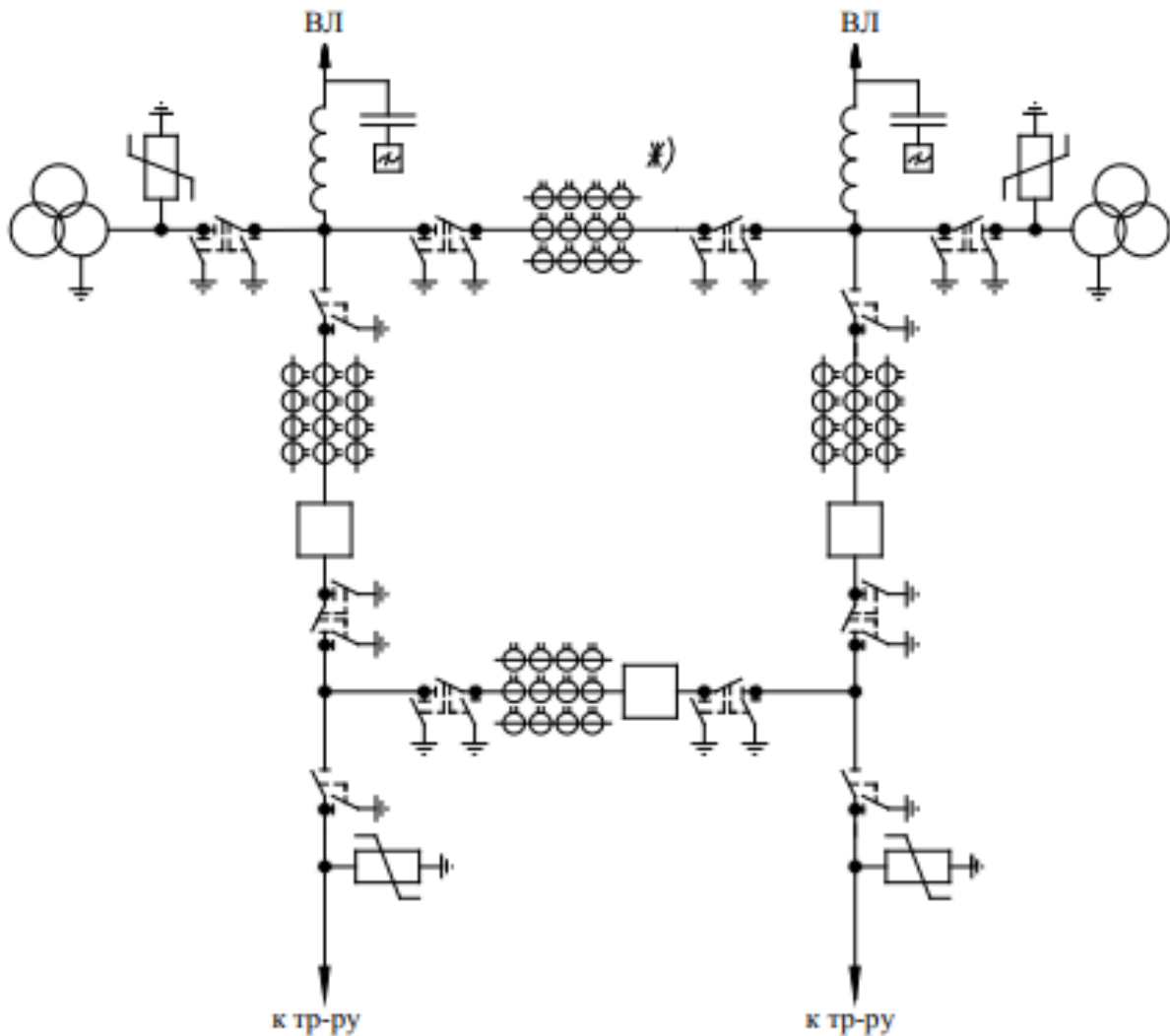


Рисунок 1 – Схема блока трансформатор – линия с выключателем ВН

Для двухтрансформаторных подстанций, включаемых в магистральную линию с одно- или двухсторонним питанием, применяют схемы «мостика». Данная схема применяется, как правило, с ремонтной перемычкой, которая при соответствующем обосновании может отсутствовать. Ремонтная перемычка позволяет выполнять ревизию любого выключателя со стороны линий или трансформаторов при сохранении в работе линий и трансформаторов.

Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» показана на рисунке 2. Здесь на четыре присоединения (две линии и два трансформатора) устанавливаются три выключателя. На проходных подстанциях перемычка с выключателем находится в нормально замкнутом

положении, через нее осуществляется транзит мощности. При аварии на какой-либо из линий автоматически отключается выключатель со стороны поврежденной линии и включается выключатель в перемычке, оба трансформатора остаются в работе. Если на одном из трансформаторов происходит авария, то отключение выключателя приводит к отключению трансформатора и питающей линии. Отключение линии при повреждении трансформатора является недостатком данной схемы.



*) Устанавливаются при соответствующем обосновании.

Рисунок 2 – Схема мостика с выключателями в цепи линий и ремонтной перемычкой со стороны линий

При большом количестве присоединений рекомендуется применять ряд типовых схем распределительных устройств со сборными системами шин. На подстанциях с высшим напряжением 110 кВ, имеющих до шести присоединений, используют схемы с одиночной секционированной и обходной системами шин и совмещенным секционным и обходным выключателем (рисунок 3).

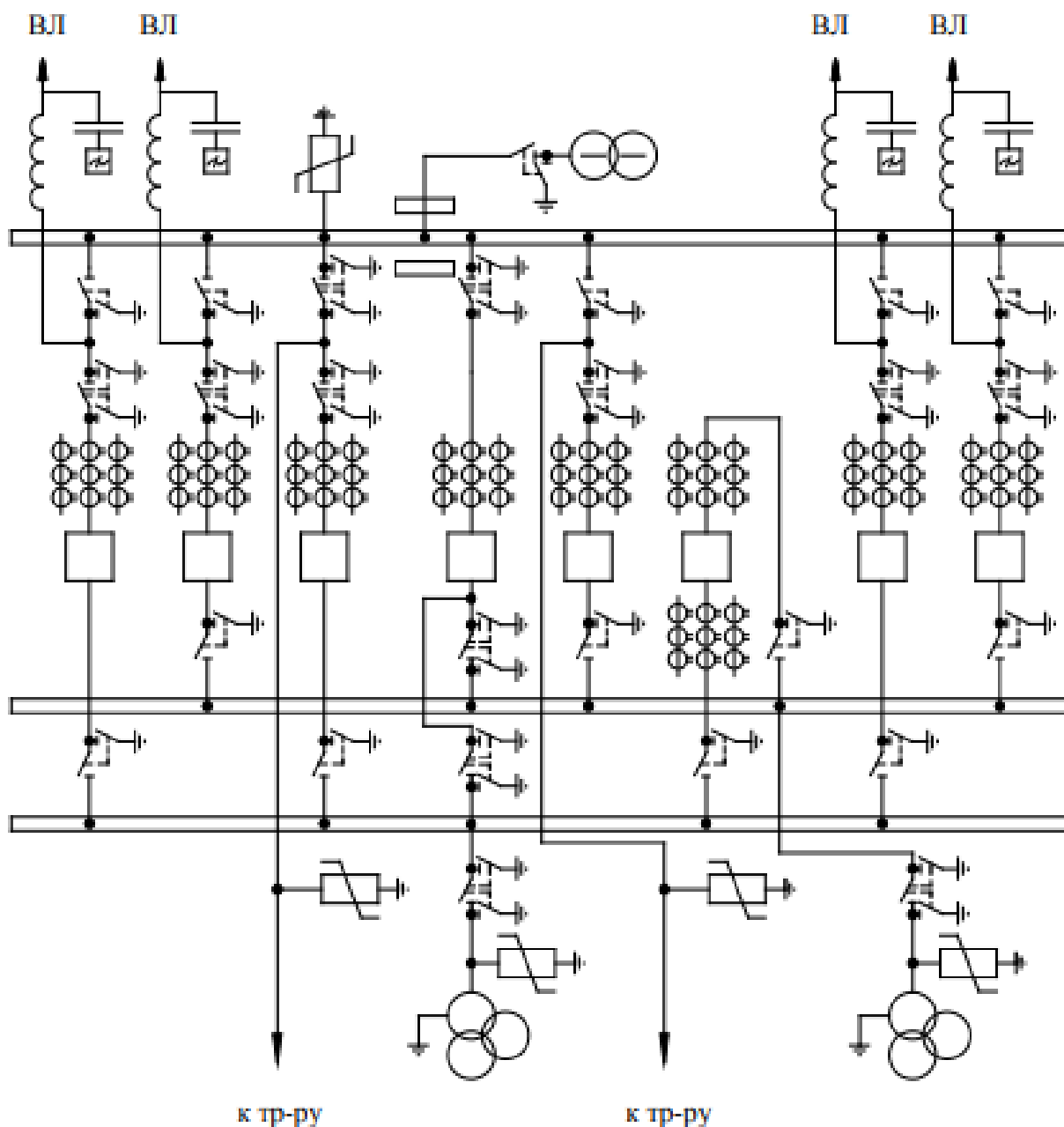


Рисунок 3 – Одна рабочая, секционированная выключателем, и обходная система шин

Секции шин соединяются между собой секционным выключателем. Также предусмотрен обходной выключатель, который предназначен для соединения одной или другой секции шин с обходной системой шин. В данной схеме обходной выключатель можно использовать для замены выключателя любого присоединения при необходимости вывода его в ремонт. В схеме с одной секционированной системой шин и обходной системой шин количество радиальных линий должно быть не более одной на секцию. При невыполнении этого условия с количеством присоединений до 15 применяется схема с двумя рабочими системами и обходными системами шин (рисунок 4). В ней две рабочие системы шин соединены между собой с помощью шиносоединительного выключателя. Обходной выключатель с помощью соответствующих разъединителей позволяет соединить обходную систему шин с первой или

второй рабочей системой шин. При количестве линий больше 13 применяют секционирование первой и второй системы шин и устанавливается второй обходной выключатель.

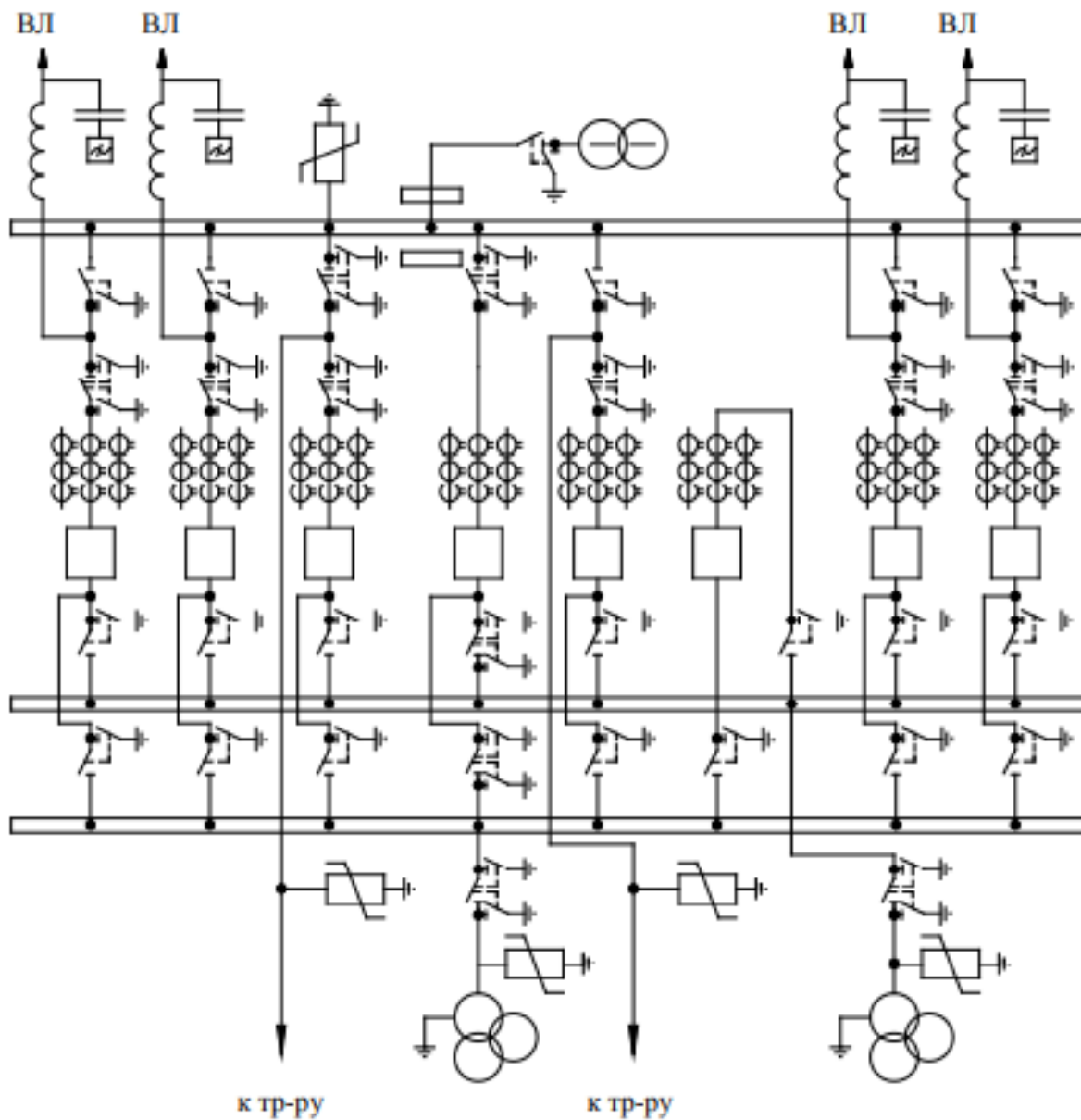


Рисунок 4 – Две рабочие и обходная системы шин

Литература

1. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии. Учебное пособие., 3-е изд., перераб./ В.Т. Федин: Феникс, 2012. – 648 с.
2. Поспелов Г. Е. Электрические системы и сети : учебник для вузов / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. - Минск: Технопринт, 2004. – 720 с.
3. СТП 33243.01.216-16 Подстанции электрические напряжением 35 кВ и выше. Нормы технологического проектирования. Минск КП01 УДК 621.311.
4. Кокин, С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие / С. Е. Кокин, С.А. Дмитриев, А.И. Хальясмаа.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015.— 100 с.

УДК621.3

ПОВЫШЕНИЕ НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Божко Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

Высокие темпы развития крупных городов привели к стремительному росту энергопотребления и повышению плотности электрических нагрузок в целом. К началу 21 века распределительные сети электроснабжения 10/0,4 кВ стали неэффективными и неконкурентоспособными, что обусловлено: высокой степенью физической и моральной изношенности электрооборудования, высокими потерями электрической энергии, низким уровнем автоматизации.

Оценка основных преимуществ и недостатков перехода к уровню напряжения 20 кВ

К основным преимуществам перехода распределительных электросетей к уровню напряжения 20 кВ можно отнести:

1. Увеличение пропускной способности электросети. Современные темпы развития города приводят к интенсивному увеличению электропотребления как в промышленном секторе, так и в бытовом. При этом высокая плотность застройки приводит к невозможности строительства новых объектов электросетевого хозяйства в некоторых районах города. Многочисленные расчеты показали, что повышение уровня напряжения приводит к увеличению пропускной способности электросети в 2 и более раза [1].

2. Снижение потерь электроэнергии и напряжения при передаче. Рассмотрим простейший фрагмент электросети, состоящей из центра питания (ЦП) и трансформаторной подстанции (ТП), соединенных кабельной линией КЛ (рис. 1).

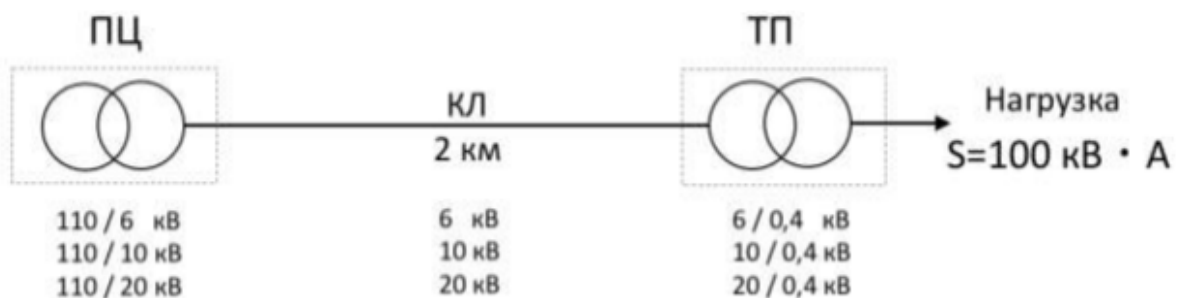


Рисунок 1 – Схема фрагмента электросети

Для представленной на Рис.1 схемы выполнены расчеты нагрузочных потерь, кВт·ч/год (1) и приведенных потерь, % (2) в кабельных линиях 6/10/20 кВ соответственно (табл. 1).

Таблица 1 – Нагрузочные и приведенные потери в кабельных линиях 6/10/20 кВ

Сечение КЛ, мм ²	6 кВ		10 кВ		20 кВ	
	1	2	1	2	1	2
120	407	1,15	146	0,23	36	0,8
150	341	0,98	123	0,15	30	0,7
185	257	0,67	92	0,12	23	0,6
240	197	0,55	71	0,1	17	0,4

Анализ полученных данных показал, что нагрузочные потери в линиях 20 кВ в среднем в 5-10 раз меньше, чем в КЛ 6/10 10 кВ. При этом стоит отметить, что стоимость КЛ 20 кВ в 1,8 – 2,3 раза больше, чем кабелей 10 кВ за счет наличия в них свинцованных жил.

Следует отметить и недостатки повышения уровня напряжения распределительных электросетей. Повышение уровня напряжения приведет к удорожанию энергосистемы и затрат на эксплуатацию. Полный переход к электросети более высокого уровня напряжения потребует колоссальных затрат и замену тысяч километров КЛ, трансформаторов и другого оборудования. При этом большая часть расходов будет возложена на потребителей в виде повышенных тарифов. В условиях экономической нестабильности, оценить ущерб экономики отдельных предприятий и экономики страны в целом затруднительно.

Мировая практика перехода к уровню напряжения 20 кВ

Принято считать, что повышение уровня напряжения является особо актуальным для крупных промышленных предприятий. В мировой практике существует множество примеров, подтверждающих данное заключение. Электросети напряжением 20/0,4 кВ эксплуатируются во многих городах Европы (Франция, Болгария, Чехия и пр.), Японии и пр. [2]. Если говорить о технической стороне вопроса повышения уровня напряжения распределительных электросетей, то здесь сомнения в целесообразности такой модернизации не возникает. Если же говорить о вопросе с экономической точки зрения, то мнения экспертов по данному вопросу сильно расходятся. Дело в том, что настоящий момент отсутствует реальный опыт полного перехода городских распределительных электросетей с уровня напряжения 6-10 кВ к уровню 20 кВ. Частичный переход, произведенный в некоторых странах мира, не позволяет сделать достоверное заключение. Анализ экономической эффективности перехода промышленных предприятий к уровню напряжения 20 кВ показал, что срок окупаемости в среднем составляет 4,5-10 лет [3]. Широкий диапазон разброса показателей связан с учетом предприятий с различными режимами работы.

Заключение

Расчеты и анализ мировой практики повышения уровня напряжения распределительных электросетей показал, что переход к уровню напряжения 20 кВ является затратной, однако, необходимой мерой модернизации и развития электросетей.

Литература

1. Черепанов В.В., Суворова И.А. Исследование технико-экономической целесообразности применения напряжения 20 кВ в городских электрических сетях // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 5. С. 12–14.
2. Borscevskis O., Gavrilovs G. 20kV voltage adaptation problems in urban electrical networks.
3. Буре И.Г., Гусев А.В. Повышение напряжения до 20-25 кВ и качество электроэнергии в распределительных сетях // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2005. № 5. С. 30-32.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Стандарты и сертификация Светодиодного освещения

Богданов Ю. И., Пильник А. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В. Б.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Садовская Т.И., Сурович П.В.

Научный руководитель – доцент Горностай А.В.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ЗДАНИЙ

Гиль А.С., Кирикович А.Ю.

Научный руководитель - ассистент Джугля М.Н.

РЕЖИМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Шкуратов В.А., Мисюк А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБТН В ТЕРМОГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Мацук А.С., Клявдо М.А.

Научный руководитель – к.т.н. доцент Козловская В.Б.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ

Сурович П.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Калечиц В.Н.

«БАКТЕРИАЛЬНЫЙ» ГЕНЕРАТОР - ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

Куршук А.А., Матюнина К.В., Нижникова А.П.
Научный руководитель – ассистент Смоловская Д.М.

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Павлович Е.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МАГНИТОПРОВОДА В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Ковзан А.А., Коротченко С.Н.
Научный руководитель – ассистент Протасеня М.Л.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ХАРАКТЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сивцов Н.А., Ратомский Е.И.
Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ- МЕГАКОНСТРУКЦИИ. “ЗА” И “ПРОТИВ”.

Беспалова В.Г.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

ПОДСТАНЦИЯ «МОГИЛЕВ-330»

Самутичева Е.Д.
Научный руководитель – ассистент Смоловская Д.М.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Подлипалин О.Я.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Мангул Д.И.
Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Кашеев Д.А.
Научный руководитель - к.т.н., доцент Константинова С. В.

СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Козловская Д.А., Лагунов Д.В.

Научный руководитель – ассистент Смолдовская Д.М.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Тихно В.Д.

Научный руководитель - к.т.н, доцент Константинова С.В.

УДК 621.3

СТАНДАРТЫ И СЕРТИФИКАЦИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Богданов Ю. И., Пильник А. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В. Б.

Для реализации и эксплуатации осветительной продукции необходимо проводить тестирование рабочих характеристик светодиодных ламп и светильников. В результате тестирования определяются такие характеристики, как световая отдача (люмен / Вт), индекс цветопередачи (Ra), пульсация светового потока и другие, необходимые для выбора осветительного оборудования. Для получения достоверной информации светодиодный источник света разбивают на ключевые сегменты, связанные с основными элементами продукта светодиодного освещения: от светодиодов до лампы или светильника (рис.1).



Рисунок 1. Классификация по сложности устройства

Ключевые характеристики для каждого элемента в составе продукта представлены на рис.2.

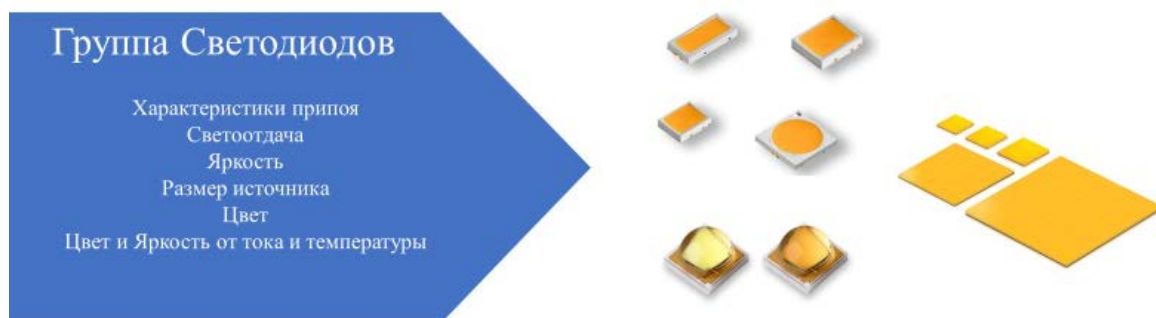


Рисунок 2. Ключевые характеристики производительности для каждого элемента



Рисунок 2. Ключевые характеристики производительности для каждого элемента(окончание)

В условиях высокой конкуренции на рынке светодиодных источников света производители во всем мире стараются представить наибольшие значения характеристик светодиодных осветительных приборов. Однако существует ряд стандартов (директив) по оценке характеристик светодиодных осветительных приборов, которые являются обязательными в ЕС:

- о низковольтному оборудованию (2014/35 / EU) - охватывает все аспекты безопасности (не только поражение электрическим током) и

включает фотобиологические опасности и влияние электродвижущей силы (ЭДС) на людей;

- об электромагнитной совместимости (2014/30 / EU) - излучения и невосприимчивость, гармоника и мерцание;
- об ограничении содержания опасных веществ (2011/65 / EC) (все материалы и компоненты, входящие в состав продукта, должны соответствовать требованиям, включая упаковку);
- по экодизайну (2009/125 / EC), которая включает требования к минимальным характеристикам производительности и надежности, как показано более подробно ниже;
- по энергетической маркировке (2010/30 / EU), которая включает требования к указанию посредством маркировки и стандартной информации о продукте в отношении потребления энергии и других ресурсов.

Например, Директива по экологическому дизайну предъявляет требования, представленные в Таблице 1 (постановления 1194/2012 для светодиодных ламп). Кроме того, существуют минимальные требования к энергоэффективности для предотвращения выхода на рынок неэффективных продуктов, особенно для светодиодных ламп и светодиодных модулей (используемых в светильниках).

Таблица 1 – Функциональные требования для ненаправленных и направленных светодиодных ламп

Параметры	Требования
Срок службы при 6000ч	$\geq 0,9$
Световой поток при 6000ч	$\geq 0,8$
Число циклов переключения до отказа	Половина от номинального срока службы
Время пуска	< 0.5 секунд
Время разогрева лампы до 95%	< 2 секунд
Частота преждевременных отказов	$< 5\%$ при 1000ч
Цветопередача (Ra)	≥ 80 ≥ 60 если предназначена для наружного или промышленного применения
Коэффициент мощности (PF) для ламп со встроенным механизмом управления	$P \leq 2$ Вт: не требуется $2 \text{ Вт} < P \leq 5 \text{ Вт}$ PF $> 0,4$ $5 \text{ Вт} < P \leq 25 \text{ Вт}$ PF $> 0,5$ $P > 25 \text{ Вт}$ PF $> 0,9$

Приведём некоторые важные области, в которых тестирование производительности становится все более важным:

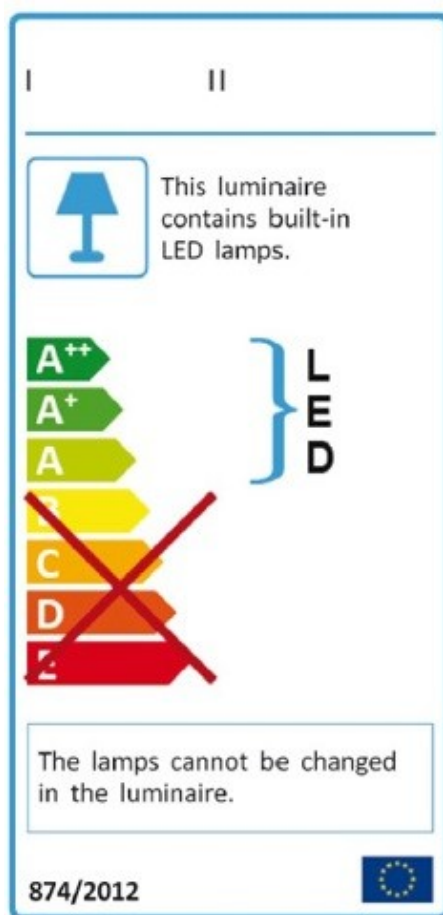


Рисунок 3. Энергетическая маркировка ЕС

1. энергетическая маркировка ЕС (Рисунок 3) отражает показатели энергоэффективности - для соответствия экологическому дизайну и другим требованиям стандартов минимальных энергетических характеристик (MEPS) для выхода на рынок;
2. фотометрические характеристики - спектральные, временные и пространственные свойства, обеспечивающие соответствие продуктов требуемому качеству использования. Контролю цвета и пульсации уделяется особое внимание;
3. надежность и проверка срока службы осуществляются для обеспечения минимального уровня качества в соответствии с нормативными требованиями, например, экодизайна, и обеспечения надлежащей поддержки гарантий. Ключевыми элементами будут поддержание светового потока светодиодного модуля и частота отказов светодиодного драйвера, а также исследование других видов отказов и прогнозирование срока службы лампы или светильника;
4. электромагнитные и радиотехнические характеристики - в средах, которые все больше заполняются радиосигналами и электроникой с более высокой тактовой частотой, более плотно прилегающей к источникам питания, необходимость испытаний на ЭМС становится все более важной. Новая Директива по радиооборудованию определяет новые требования к тестированию продуктов с возможностью беспроводного подключения, и с изменением частоты электромагнитной совместимости и требований к испытаниям для производителей.

5. • производительность сети / контроллера - с растущим использованием интеллектуальных средств управления и управления / датчиков на основе IoT и большого разнообразия систем сетевой связи, таких как Wi-Fi, zigbee, Bluetooth, 4G; существует ряд проблем, связанных с тестированием продуктов на соответствие нормативным требованиям, а также с передачей информации о том, что продукты будут работать в предписанных пользовательских средах и что совместимость продуктов с другими системами будет гарантирована - эти бесчисленные требования бросают вызов производителям. Кроме того, дополнительный элемент безопасности продукта IoT чрезвычайно сложен, но также крайне необходим.

Во всех вышеупомянутых случаях отрасль разработала стандарты и полагается на них для определения наилучших методов испытаний, информации для маркировки, а также для установления пределов приемлемых характеристик. В ЕС и странах, где приняты стандарты IEC, ключевыми стандартами производительности для светодиодной продукции являются:

- IEC / EN: 60598-1 (общие требования и испытания ламп),
- IEC / EN62031 (Общие требования безопасности для светодиодных модулей)

Регламент ЕС 1194/2012 (экологический дизайн для светодиодного освещения) подкреплен ключевыми стандартами производительности, такими как

- EN 13032-4 - Фотометрия светодиодных продуктов (а также CIE S025 и версия LM-79-08 для США)
- EN 62612 - Характеристики светодиодных ламп, включая фотометрическую информацию, сохранение светового потока и испытания на долговечность.
- EN 62717 - Характеристики светодиодного модуля, включая фотометрическую информацию, сохранение светового потока и испытания на долговечность.
- EN 62772-2-1 / EN 62722-1 - Характеристики светодиодного светильника, включая фотометрическую информацию, сохранение светового потока и испытания на долговечность.
- EN 63013 (его эквивалент LM-80 для США) - Метод испытаний для поддержания светового потока светодиодных блоков и TM-21 - Прогноз срока службы
- EN 61709 (Электрические компоненты - Надежность - Нормативные условия для интенсивности отказов и модели напряжений для преобразования)
- PD IEC / TS 62861 (Руководство по тестированию надежности основных компонентов для светодиодных источников света и светодиодных светильников)
- IEEE 1789 - Рекомендуемые методы IEEE для модуляции тока в светодиодах высокой яркости для снижения рисков для здоровья зрителей.

а для новых OLED - EN 62922 (панели на органических светодиодах (OLED) для общего освещения. Требования к характеристикам).

ЭМС производительность

- EN 55015 - Эмиссия электромагнитной совместимости (пределы и методы измерения характеристик радиопомех электрического освещения и аналогичного оборудования)
- EN 61547 - невосприимчивость к электромагнитной совместимости (оборудование для общего освещения - требования устойчивости к электромагнитной совместимости)
- EN 61000-3-2 - Гармоники (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Пределы. Пределы излучения гармонических токов (входной ток оборудования ≤ 16 А на фазу)
- EN 61000-3-3 - Колебания и мерцание напряжения (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Пределы. Ограничение изменений напряжения, колебаний и мерцания напряжения в общественных низковольтных системах электроснабжения, для оборудования с номинальным током < 16 А на фазу и не при условии условного подключения)

Рассмотрим протокол испытания на примере уличного светильника.

Перечень проводимых испытаний:

1. Термические (измерение температуры точки пайки, тепловизионное исследование с помощью инфракрасной камеры)
2. Электрические (эфффективность драйвера, анализ переходных процессов, анализ мощности (коэффициент мощности, суммарный коэффициент гармоник), диэлектрический пробой, соотношение напряжение/ток (только на параллельных схемах)
3. Механические (качественный анализ конструкции, анализ на совместимость химических компонентов, рентгеновское исследование печатной платы)
4. Фотометрические и оптические (световой поток, мощность излучения, цветность (индекс цветопередачи, цветовая температура, координаты цветности), спектральное распределение мощности излучения (видимый диапазон), освещённость (фт-кд или лк), эфффективность светильника (лм/Вт), оптическая эфффективность, биннинг компонентов и определение точки цветности, оценка срока жизни согласно ТМ-21)

Результаты проведенных испытаний представляются в следующем виде:

ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Объект исследований КВАНТУМ 60/1 МВ-Л-5000

(характеристика – метод испытаний)

Класс светораспределения - ГОСТ Р 54350 – 2015 п 10.4

Тип кривой света – ГОСТ Р 54350 – 2-15 п 10.5

Световой поток – ГОСТ Р 54350 – 2015 п 10.3.2

Потребляемая мощность, потребляемый ток, коэффициент мощности – СТБ 1944-2009, п 11.4

Световая отдача – ГОСТ Р 54350 – 2015, п 10.12

Номинальное значение КЦТ - ГОСТ Р 54350 – 2015, п 10.13

Коррелированная цветовая температура, индекс цветопередачи

Снижение светового потока, время стабилизации светового потока - ГОСТ Р 54350 – 2015, п 10.14

Таблица 2 – Результаты испытаний образца светильник светодиодный КВАНТУМ 60/1МВ-Л-5000 на соответствие требованиям ГОСТ 30804.3.2-2013 (по классу оборудования С)

№ гармоники	ДН ¹⁾ , мА	СКЗ ²⁾ , мА	СКЗ ³⁾ , %	МЗ ⁴⁾ , мА	МЗ ⁵⁾ , %	Результат ⁶⁾
2	4,8	0,3	6,3	0,26	5,4	Pass
3	70,8	23,1	32,6	23,11	32,6	Pass
5	24,2	3,1	12,8	3,1	12,8	Pass
7	17	1,2	7,1	1,2	7,1	Pass
9	12,1	1,2	9,9	1,19	9,8	Pass
11	7,3	1,7	23,3	1,74	23,8	Pass
13	7,3	1,1	15,1	1,14	15,6	Pass
15	7,3	1,2	16,4	1,15	15,8	Pass
17	7,3	1,2	16,4	1,2	16,4	Pass
19	7,3	0,8	11	0,82	11,2	Pass
21	7,3	0,9	12,3	0,92	12,6	Pass
23	7,3	0,8	11	0,76	10,4	Pass
25	7,3	0,7	9,6	0,71	9,7	Pass
27	7,3	0,8	11	0,76	10,4	Pass
29	7,3	0,6	8,2	0,65	8,9	Pass
31	7,3	0,7	9,6	0,73	10	Pass
33	7,3	0,7	9,6	0,66	9	Pass
35	7,3	0,7	9,6	0,68	9,3	Pass
37	7,3	0,7	9,6	0,68	9,3	Pass
39	7,3	0,6	8,2	0,62	8,5	Pass

1) ДН – допустимая норма среднего значения гармонической составляющей тока по ГОСТ 30804.3.2-2013 (определяется по данным из таблицы 3).

2) СКЗ – среднее арифметическое значение гармонической составляющей тока за период наблюдения.

3) СКЗ, выраженное в процентах от ДН.

4) МЗ – максимальное значение гармонической составляющей тока, измеренное за период наблюдения.

5) МЗ, выраженное в процентах от ДН.

6) Результат испытаний – успешный (Pass), неудачный (Fail).



Рисунок 3. Фотография образца светильник светодиодный КВАНТУМ 60/1МВ-Л-5000

Литература

1. <https://brandon-lighting.com/international-lighting-standard/>
2. <http://www.ledbenchmark.com/faq/LED-standards.html>
3. https://www.linkedin.com/pulse/performance-testing-led-lighting-standards-benefits-part-jones-?trk=portfolio_article-card_title

УДК 621.32

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Садовская Т.И., Сурович П.В.

Научный руководитель – доцент Горноста́й А.В.

Автоматизированный учет энергоресурсов обеспечивается за счет специальных систем. Данные системы не только гарантируют технический и коммерческий учет затраченных энергоресурсов, но и осуществляют учет и контроль отпуска и потребления носителей энергии, контроль текущей нагрузки. Системы учета энергоресурсов помогают осуществлять принятие решений в планировании энергосберегающей политики на производстве и его энергопотребления.

Сформируем следующие задачи:

- точное и своевременное измерение количества потребленной/выработанной электроэнергии;
- сбор данных об объемах потребления электроэнергии с заданным интервалом на сервере;
- оперативный мониторинг и контроль нагрузок в режиме реального времени
- фиксирование нарушений штатного режима работы системы в журнале событий для анализа оперативно- диспетчерским и ремонтным персоналом
- анализ полученных данных в соответствии с требованиями Заказчика;
- формирование отчетов о потоках электроэнергии и о работе средств измерения (диагностика сбоев) по заданным шаблонам, хранение базы отчетов;
- хранение необходимых данных за заданный период в соответствии с требованиями Заказчика;
- передача данных о производстве/потреблении электроэнергии в заинтересованные организации (НП "АТС" (ОРЭ), энергоснабжающую организацию, управляющую компанию).

Система учета электроэнергии представляет собой территориально распределенную информационно-измерительную систему с многоуровневой организацией и иерархической системой обработки информации.

Количество уровней и архитектура построения системы определяются на стадии разработки технического задания и зависят от сложности и количества энергообъектов.

Анализируются следующие данные:

- фактические коммерческие расходы электроэнергии за любой период (мгновенные расходы, час, сутки, месяц, год, за весь период измерений) в рамках конкретного объекта, группы объектов, муниципального района, города, области, региона и т.д.;
- показатели качества энергоресурсов;
- техническое состояние оборудования;
- техническое состояние инженерных сетей;

- несанкционированный доступ к приборам учета.

Формируемые отчеты:

- объемы потребления электроэнергии за заданный период в табличной и графической форме;
- технические и коммерческие потери;
- баланс энергопотребления по каждому энергоресурсу;
- журнал событий (нештатные и аварийные ситуации, состояние сетей и оборудования).

Используемые каналы связи:

- проводной и беспроводной Интернет;
- силовая электрическая сеть (PLC-связь);
- радиочастота 433МГц или 2,4 ГГц;
- телефонные каналы связи в том числе GSM data;
- любые другие проводные каналы связи.

Экономический эффект достигается за счет:

- снижение потерь электроэнергии за счет выявления фактов их хищения и быстрого выявления аварийных ситуаций;
- снижение потребляемой мощности на предприятии в часы пиковых нагрузок энергосистемы за счет оперативного контроля и системы лимитирования;
- снижение потребления электроэнергии благодаря усилению дисциплины ее использования;
- снижение затрат на электроэнергию за счет перехода на оптимальный тариф и изменения графика работы цехов и подразделений в соответствии с этим тарифом;
- исключение штрафов за превышение заявленной мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы;
- снижение затрат на покупку электроэнергии за счет выхода на оптовый рынок (ОРЭМ);
- оптимизация затрат на оплату труда благодаря автоматизации процессов;
- снижение числа неоплаченных счетов за счет возможности оперативного дистанционного лимитирования потребления электроэнергии;
- снижение временных затрат на технические и управленческие решения по внедрению энергосберегающих мероприятий.

Экономический эффект от внедрения автоматизированной системы учета электроэнергии в среднем составляет 5-20% в год от суммарного потребления).

АСУЭР — возможность отслеживать потребление энергоресурсов по каждому объекту в режиме реального времени и оперативно управлять потреблением.

К составляющим систем комплексного учета энергоресурсов на предприятии или в компании относятся автоматизированные системы коммерческого и технического учета электроэнергии (АСКУЭ | АИИС КУЭ | АСТУЭ), автоматизи-

зированные системы контроля и учёта тепловой энергии (АСКУТ | АСКУТЭ), автоматизированных систем контроля и учёта воды (АСКУВ), автоматизированная система коммерческого учёта газа (АСКУГ) и другие.

Кому же необходимы системы учета энергоресурсов?



Рисунок 1– применение АСКУЭ

Система учета поможет выявить варианты для повышения эффективности и обеспечить разработку программ по энергосбережению, которые могут дополнительно снизить расходы на энергоресурсы на 15-30%.

Рассмотрим состав системы:

- информационно — вычислительный комплекс, обеспечивающий сбор, хранение и обработку информации;
- коммуникационное оборудование;
- узлы учета энергоресурсов с вычислителями и корректорами, обеспечивающие передачу информации;
- приложения пользователей.

Работу данной системы отобразим на рисунке 2 [3].

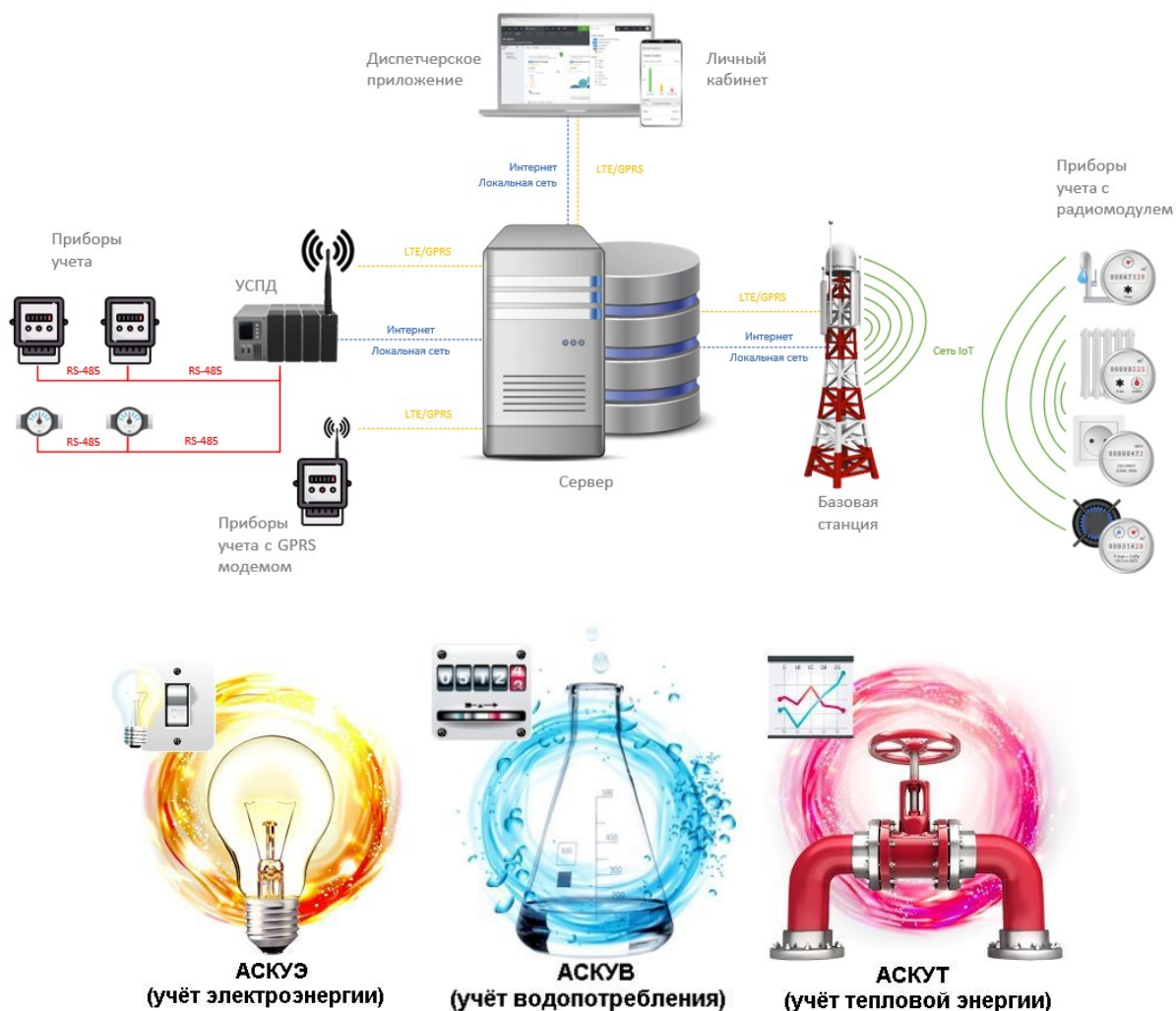


Рисунок 2 – Схема работы АСКУЭ

В качестве учетных периодов, для автоматизированных систем **учета потребления энергоресурсов**, выступают получасы, сутки, месяцы, кварталы и годы.

Системы учета энергоресурсов, как правило, имеют иерархическую структуру, состоящую из двух уровней. Первый или верхний уровень — это непосредственно управление предприятием, второй или нижний — сами объекты контроля. Каждый из этих уровней строится на основании универсальных средств программно-технического обеспечения, которые активно используют различную вычислительную технику и микропроцессоры. Уровни объединены между собой при помощи телекоммуникационных средств. Как правило, подсистемы верхнего уровня иерархии имеют подсистему для обмена информацией со смежными предприятиями и автоматизированными системами нижнего уровня.

За границей учет потребления энергоресурсов реализуется повсеместно не только в рамках крупных промышленных предприятий, но и в рамках частного коммерческого сектора. Зарубежные системы называются AMR system — automatic meter reading system, и рассчитаны на учет не только электроэнергии, но и прочих типов энергоресурсов.

Современные правила пользования электроэнергией предусматривают, что автоматизированные системы учета электрической энергии должны быть установлены для всех потребителей энергии максимальная мощность которых равна или превышает 670 кВт.

С технической точки зрения, автоматические системы учета энергии представляют из себя централизованную иерархическую информационно-измерительную систему, в состав которой входит уровень измерительных каналов для обмена данными, уровень учета энергоресурсов, клиентский уровень, уровень серверов. Кроме этого, система должна быть открытой и иметь возможность интеграции с другими системами управления и учета, уже существующими на предприятии. Точность поступающих в систему данных обеспечивается за счет того, что данные поступают синхронно через определенные интервалы времени.

Работа по совершенствованию приборного учета электрической энергии ведется по двум направлениям:

- замена индукционных приборов учета электроэнергии на электронные приборы учета;
- внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии – АСКУЭ.

Рост доли парка электронных счетчиков электрической энергии отображены на рисунках 3 и 4 [5] соответственно.

Однофазные счетчики электрической энергии (по состоянию на конец периода)

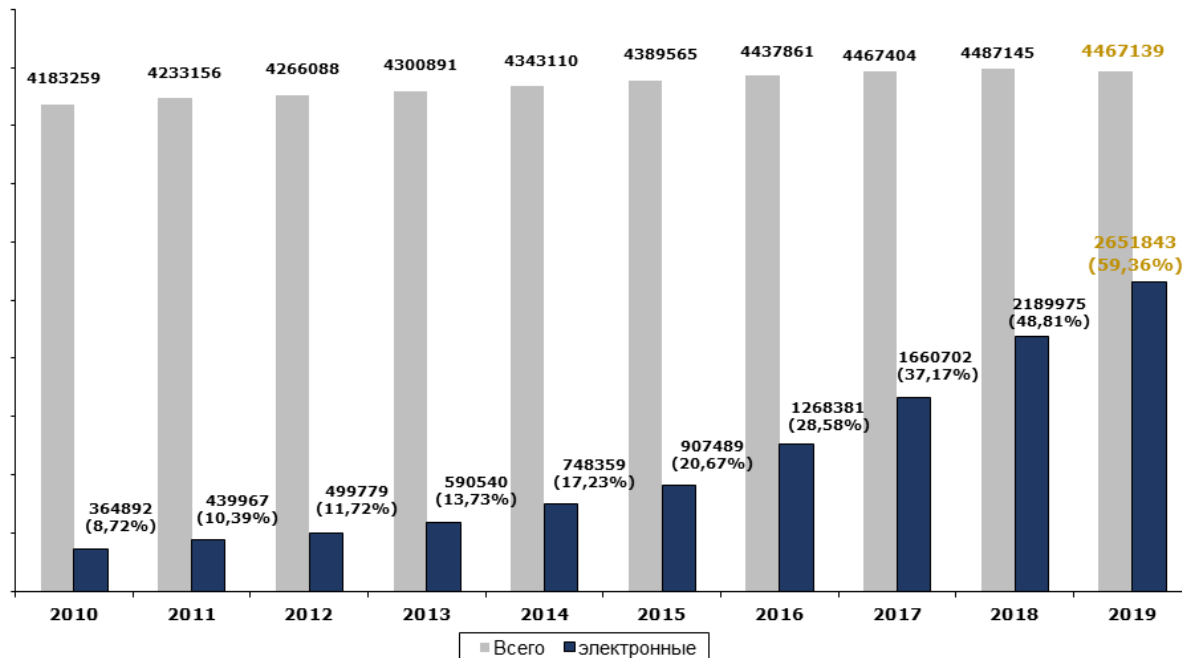


Рисунок 3 – Однофазные счетчики электрической энергии (по состоянию на конец периода)

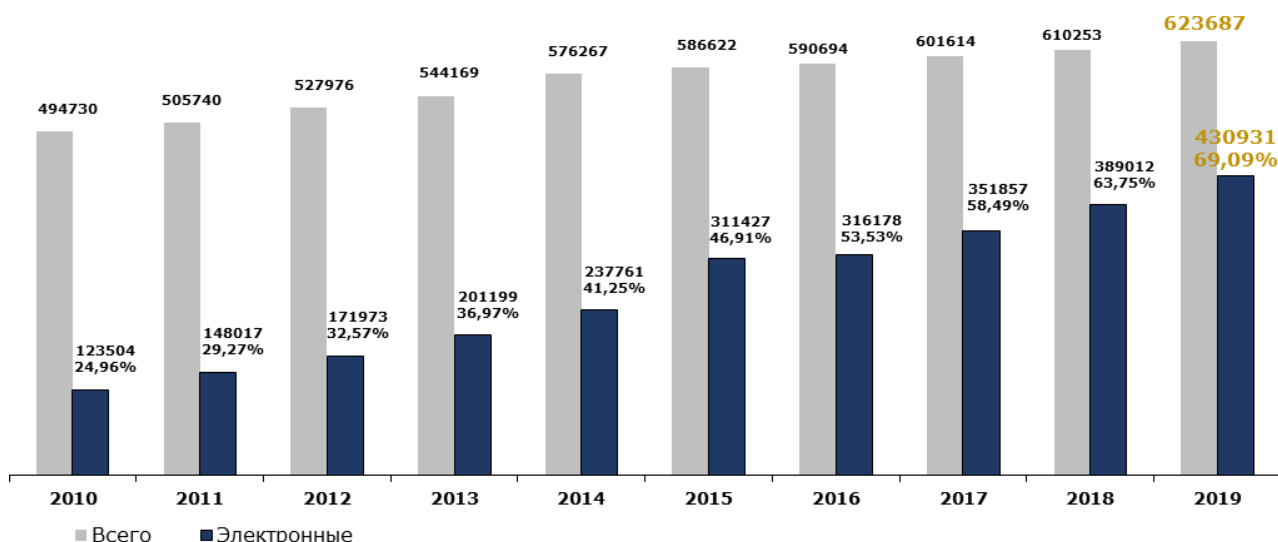


Рисунок 4 – Трехфазные счетчики электрической энергии (по состоянию на конец периода)

Системы энергоучёта позволяют производить учёт потребления электроэнергии и тепла на объектах жилого, коммерческого и производственного назначения. Системы могут учитывать потребление энергоресурсов на уровне дома, районов, города, населенного пункта с единым диспетчерским и финансовым центрами.

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) – система технических и программных средств для автоматизированного сбора, передачи, обработки, отображения и документирования процесса выработки, передачи и (или) потребления электрической энергии (мощности) по заданному множеству пространственно распределенных точек их измерения, принадлежащих объектам энергоснабжающей организации или абоненту.

Перечислим функции системы АСКУЭ:

- автоматический сбор данных коммерческого учёта потребления (отпуска) электроэнергии по каждой точке (группе) учёта на заданных коммерческих интервалах (согласно ОАО АТС — 30 мин.);
- хранение параметров учёта в базе данных;
- обеспечение многотарифного учёта потребления (отпуска) электроэнергии;
- обеспечение контроля за соблюдением режимов энергопотребления;
- вывод расчетных параметров на терминал и/или на устройство печати по требованию оператора;
- ведение единого системного времени с возможностью его корректировки.

Динамика внедрения АСКУЭ промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВА и выше (по состоянию на конец периода) представлена на рисунке 5.

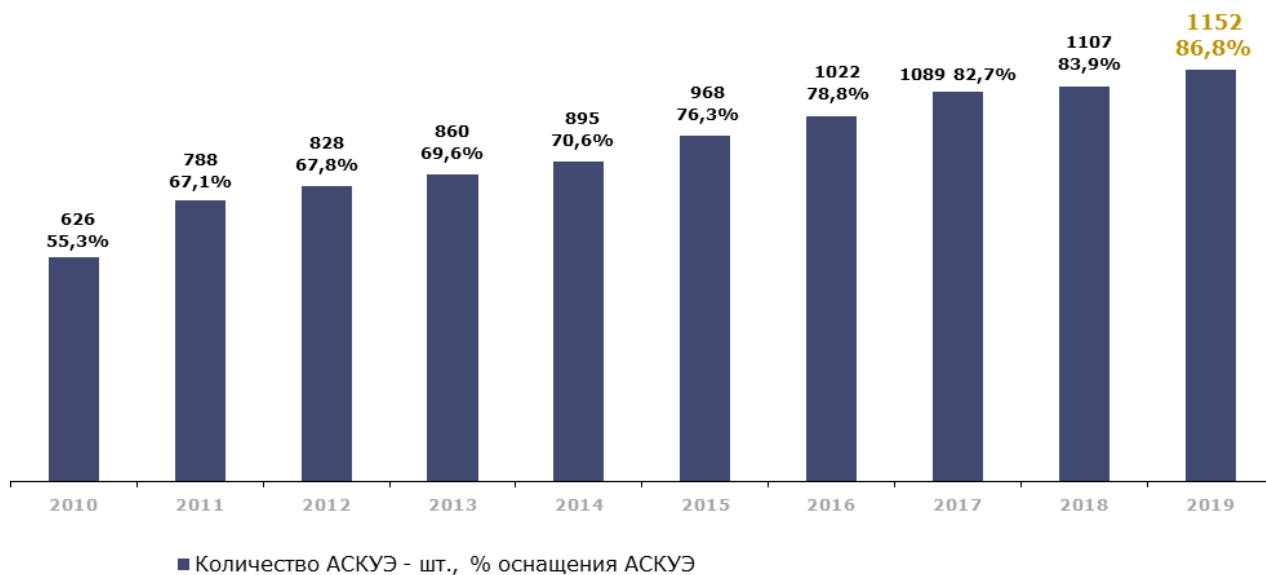


Рисунок 5 – Динамика внедрения АСКУЭ промышленных предприятий

По состоянию на 01.01.2020 86,8% промышленных предприятий оснащены системой АСКУЭ.

Динамика внедрения АСКУЭ-быт в многоквартирных жилых домах (по состоянию на конец периода) [рисунок 6] {5}.

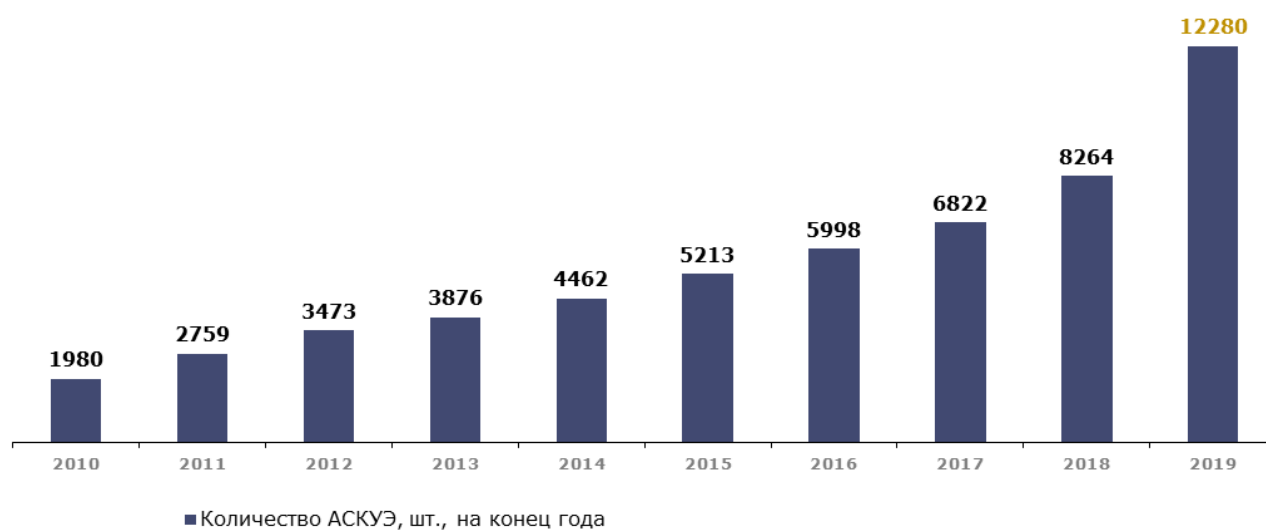


Рисунок 6 – Динамика внедрения АСКУЭ-быт в многоквартирных жилых домах

Количество АСКУЭ-быт в многоквартирных домах за период с 2010 по 2019 годы увеличилось в 6,2 раза (с 1980 до 12280).

Таким образом, система АСКУЭ обеспечивает точность расчётов поставки и потребления электроэнергии, способна оперативно обнаруживать несанкционированное подключение к сети энергопотребления, анализировать энергопотребление и фиксировать отклонения различных параметров и многое другое. Данная система имеет множество преимуществ и значительно помогает в работе на предприятии.

Литература

1. Автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
3. <https://yaenergetik.ru/blog/avtomatizirovannaya-sistema-kommercheskogo-uchyota-elektroenergii-v-oblake/>. – Дата доступа: 26.09.2017.
4. Автоматизированные системы учета энергоресурсов от компании «Экситон». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exiton-nn.com/products/asuer>. – Дата доступа: 19.08.2018.
5. Группа «НЭК». Независимые Энергетические Компании. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.n-elektro.ru/produkczija-i-uslugi/avtomatizirovannyij-uchyot-energoresursov-mnogokvartirnyix-domov.html>. – Дата доступа: 11.11.2016.
6. Учет электроэнергии. Телесистемы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.telesystems.info/uchet_electro/. – Дата доступа: 01.11.2019.
7. Совершенствование учета электроэнергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/sbytovaya-deyatelnost/sovershenstvovanie-ucheta-otpuskaemoy-potrebitelyam-elektricheskoy-energii/>. – Дата доступа: 05.10.2015.

УДК 628.971

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ
ЗДАНИЙ**

Гиль А.С., Кирикович А.Ю.

Научный руководитель - ассистент Джугля М.Н.

Расход электроэнергии на цели освещения может быть заметно снижен достижением оптимальной работы осветительной установки в каждый момент времени.

Добиться наиболее полного и точного учета наличия дневного света, равно как и учета присутствия людей в помещении, можно, применяя средства автоматического управления освещением (СУО).

Управление осветительной нагрузкой осуществляется при этом двумя основными способами: отключением всех или части светильников (дискретное управление) и плавным изменением мощности светильников (одинаковым для всех или индивидуальным).

К системам дискретного управления освещением в первую очередь относятся различные фотореле (фотоавтоматы) и таймеры.

Принцип действия первых основан на включении и отключении нагрузки по сигналам датчика наружной естественной освещенности.

Вторые осуществляют коммутацию осветительной нагрузки в зависимости от времени суток по предварительно заложенной программе.

К системам дискретного управления освещением относятся также автоматы, оснащенные датчиками присутствия. Они отключают светильники в помещении спустя заданный промежуток времени после того, как из него удаляется последний человек. Это наиболее экономичный вид систем дискретного управления, однако к побочным эффектам их использования относится возможное сокращение срока службы ламп за счет частых включений и выключений.

Системы плавного регулирования мощности освещения по своему устройству несколько сложнее. Принцип их действия поясняет рисунок.

В последнее время многими зарубежными фирмами освоено производство оборудования для автоматизации управления внутренним освещением. Современные системы управления освещением сочетают в себе значительные возможности экономии электроэнергии с максимальным удобством для пользователей.

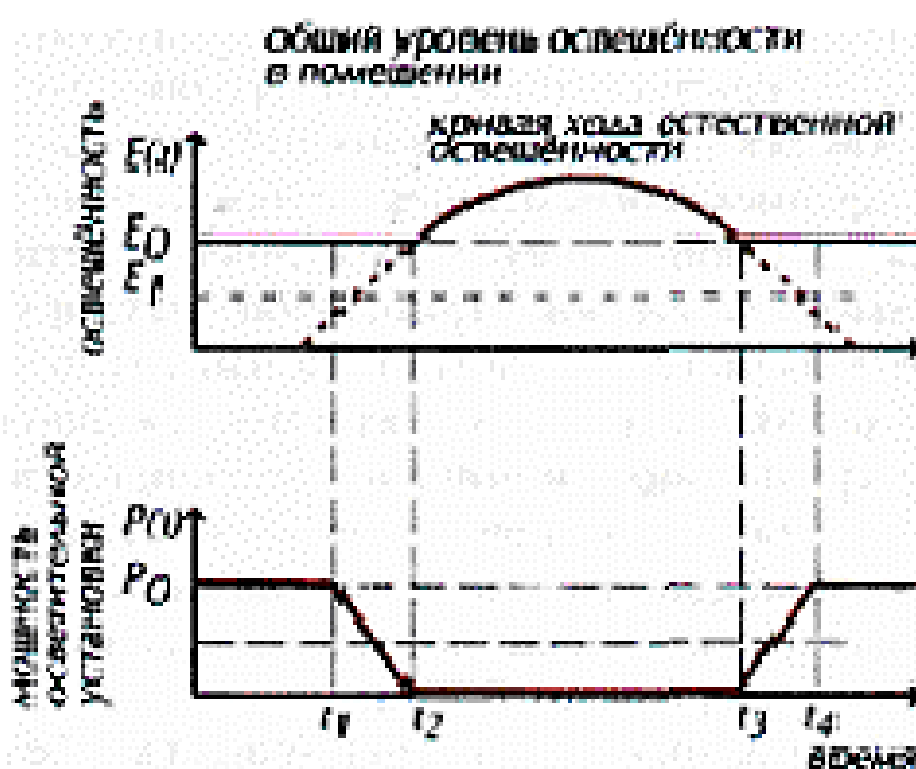


Рисунок 1 - Принцип действия системы плавного регулирования мощности освещения

Автоматизированные системы управления освещением, предназначенные для использования в общественных зданиях, выполняют следующие типичные для этого вида изделий функции:

1. Точное поддержание искусственной освещенности в помещении на заданном уровне. Достигается это введением в систему управления освещением фотоэлемента, находящегося внутри помещения и контролирующего создаваемую осветительной установкой освещенность. Уже только одна эта функция позволяет экономить энергию за счет отсечки так называемого "излишка освещенности".

2. Учет естественной освещенности в помещении. Несмотря на наличие в подавляющем большинстве помещений естественного освещения в светлое время суток, мощность осветительной установки рассчитывается без его учета. Если поддерживать освещенность, создаваемую совместно осветительной установкой и естественным освещением, на заданном уровне, то можно еще сильнее снизить мощность осветительной установки в каждый момент времени. В определенное время года и часы суток возможно даже использование одного естественного освещения. Эта функция может осуществляться тем же фотоэлементом, что и в предыдущем случае, при условии, что он отслеживает полную (естественную + искусственную) освещенность. При этом экономия энергии может составлять 20 - 40%.

3. Учет времени суток и дня недели. Дополнительная экономия энергии в освещении может быть достигнута отключением осветительной установки в определенные часы суток, а также в выходные и праздничные дни. Эта мера позволяет эффективно бороться с забывчивостью людей, не отключающих освеще-

ние на рабочих местах перед своим уходом. Для ее реализации автоматизированная система управления освещением должна быть оборудована собственными часами реального времени.

4. Учет присутствия людей в помещении. При оборудовании системы управления освещением датчиком присутствия можно включать и отключать светильники в зависимости от того, есть ли люди в данном помещении. Эта функция позволяет расходовать энергию наиболее оптимально, однако ее применение оправдано далеко не во всех помещениях. В отдельных случаях она может даже сокращать срок службы осветительного оборудования и производить неприятное впечатление при работе.

5. Получаемая за счет отключения светильников по сигналам таймера и датчиков присутствия экономия электроэнергии составляет 10 - 25 %.

6. Дистанционное беспроводное управление осветительной установкой. Хотя такая функция не является автоматизированной, она часто присутствует в автоматизированных системах управления освещением благодаря тому, что ее реализация на базе электроники системы управления освещением очень проста, а сама функция добавляет значительное удобство в управлении осветительной установкой.

Методами непосредственного управления осветительной установкой является дискретное включение/отключение всех или части светильников по командам управляющих сигналов, а также ступенчатое или плавное снижение мощности освещения в зависимости от этих же сигналов.

Ввиду того, что современные регулируемые электронные ПРА имеют ненулевой нижний порог регулирования, в современных автоматизированных системах управления освещением применяется комбинация плавного регулирования вплоть до нижнего порога с полным отключением ламп в светильниках при его достижении.

Литература

1. Козловская В.Б. Проектирование систем электрического освещения: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: БНТУ, 2008. – 133с.
2. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. - 255с.
3. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2013. – 49с.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/naselenie-jenergija.pdf>.

УДК 620.92

РЕЖИМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Шкуратов В.А., Мисюк А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

В любой момент времени потребляемая мощность соответствует активной мощности источников – турбогенераторов, гидрогенераторов электростанций, гидроаккумулирующих станций и др.

Баланс активных мощностей соответствует некоторым значениям частоты. При изменении активной мощности генерирующих устройств так же изменяется частота и напряжение.

Уравнение баланса электрических мощностей представим как

$$dP_{II} = \frac{\partial \sum P_{II}}{\partial f} df + \frac{\partial \sum P_{II}}{\partial U} dU ,$$

где P_{II} - активная мощность источника;

P_{II} - активная мощность потребителей;

U - напряжение;

f - частота электрической сети.

Если баланс мощностей нарушается из-за снижения генерирующей мощности на электрической станции или увеличения использования активной мощности потребителями, то устанавливается режим с изменившимися значениями составляющих выражения баланса активных мощностей.

Из-за снижения генерируемой активной мощности происходит уменьшение значения частоты и напряжения в системе, и наоборот. При увеличении мощности источников происходит возрастание значений частоты тока и напряжения в электрической сети.

Для того, чтобы контролировать изменение частоты нужно изменять генерируемую активную мощность. Другие методы менее эффективны и трудны в реализации.

Для стран СНГ и Европы номинальное значение частоты 50 Гц, однако во многих странах, в том числе в Китае, США – 60 Гц. Снижение частоты приводит к уменьшению скорости асинхронных и синхронных электродвигателей. В расчетах принимается, что изменение значения частоты в 1% приводит к изменению активной мощности на 0,5% [1].

Режимы работы потребителей характеризуются графиками электрических нагрузок, которые показывают изменение используемой мощности в течение определенного периода времени. Есть отчетные графики (июньские, декабрьские), которые используют для анализа режимов работы и расчетные графики, которые служат для планирования работы и проектирования объектов энергосистемы.

Графики электрических нагрузок составляются в прямоугольных координатах и показываются либо ломанными кривыми (ступенями), либо плавными кри-

выми (с помощью самопишущего прибора). Они строятся с помощью амперметров, ваттметров, автоматизированных систем учета и контроля. На каждой ступени откладывается средняя мощность за определенный промежуток времени.

Графики бывают не только для одиночных электроприемников (ЭП), но и для групп ЭП. Для одиночных ЭП строят индивидуальные графики, а для группы соответственно – групповые графики. Ниже на рисунке 1 приведем пример графика нагрузки.

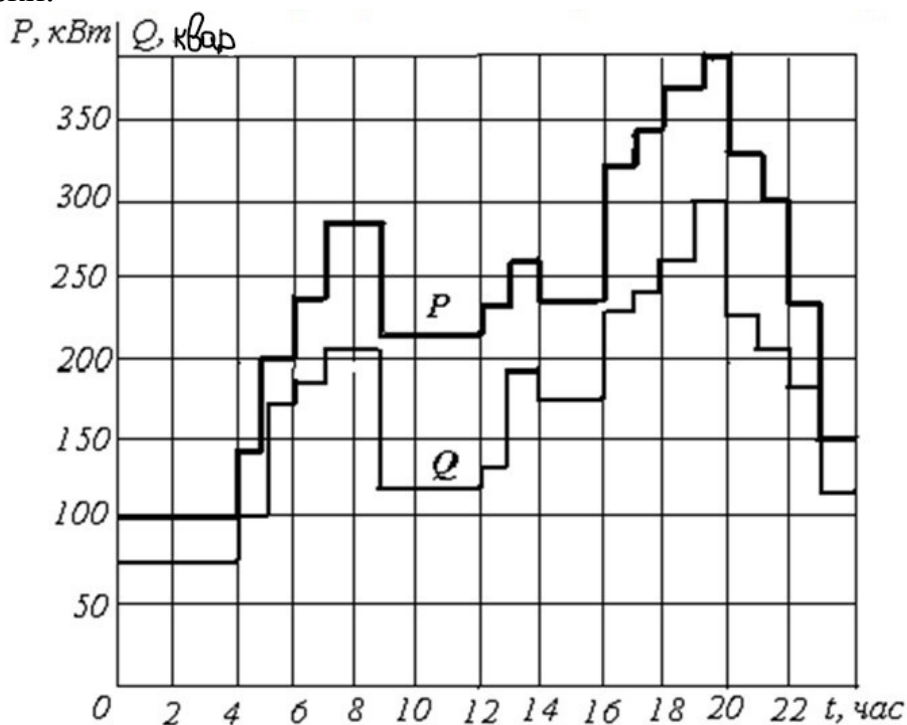


Рисунок 1 – Суточный график нагрузки

Обычно для каждого потребителя дается несколько суточных графиков, которые характеризуют его работу в разное время года и в разные дни недели. Основным является обычно зимний суточный график рабочего дня. Его максимальная нагрузка P_{\max} принимается за 100%, и ординаты всех остальных графиков задаются в процентах именно этого значения [2].

Для суточных графиков активной и реактивной нагрузок характерны следующие величины: максимум активной нагрузки в наиболее загруженной смене P_{\max} кВт, расход активной (реактивной) энергии за сутки $W_{\text{сут}}$ ($V_{\text{сут}}$), кВт·ч (квар·ч), расход активной (реактивной) энергии за наиболее загруженную смену $W_{\text{см}}$ ($V_{\text{см}}$), кВт·ч (квар·ч).

Используя эти характерные величины и зная общую номинальную мощность всех рабочих электроприемников, можно определить характерные для суточных графиков показатели такие как средняя активная и реактивная нагрузка, коэффициент мощности в период максимума, коэффициенты заполнения, неравномерности, формы по активной и реактивной нагрузке.

Так же существуют годовые графики нагрузки. Годовой график нагрузки может быть построен аналогично суточному графику, т. е. по средним мощностям. Годовые графики активной и реактивной нагрузок по продолжительности,

построенные на основании суточных или месячных графиков нагрузок, позволяют уточнить величину годового потребления электроэнергии, наметить режим работы трансформаторов на подстанциях в течение года, правильно выбрать компенсирующие устройства.

Для годовых графиков активной и реактивной нагрузок по продолжительности характерны следующие величины: годовой максимум активной (реактивной) нагрузки $P_{\max.g}$ ($Q_{\max.g}$), кВт (квар), годовой расход активной (реактивной) энергии W_g (V_g), кВт·ч (квар·ч). На рисунке 2 представлен годовой график нагрузки.

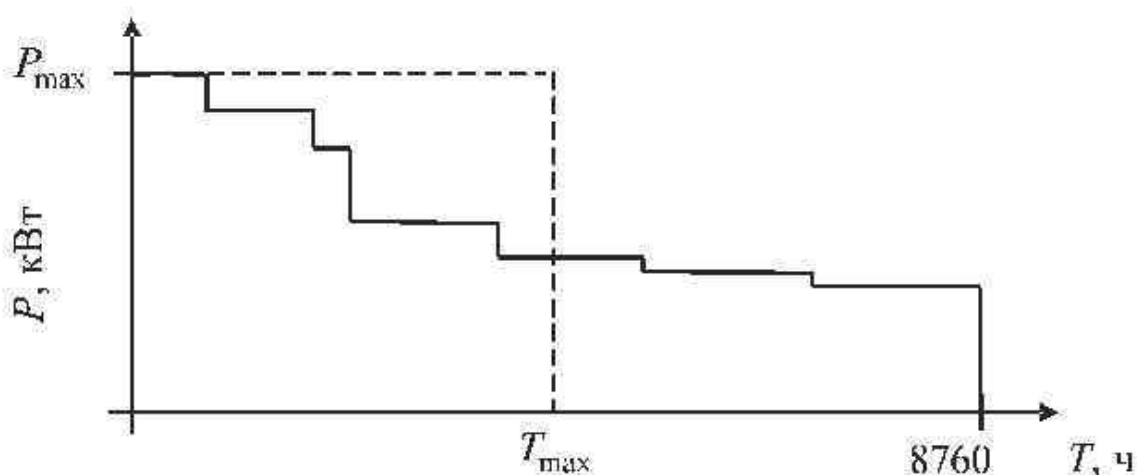


Рисунок 2 – Годовой график нагрузки.

Для анализа и сопоставления показателей, полученных на одном предприятии, с показателями предприятиями-аналогами необходимо графики электрических нагрузок дополнять данными, характеризующими технологию производства в соответствующий графикам период времени [2].

Дефицит мощности в энергосистеме может возникнуть внезапно вследствие аварии с отключением генераторов электростанций или мощных межсистемных линий электропередачи, несущих большую нагрузку, а при задержке ввода мощности генераторов – “запланированный” дефицит.

С момента возникновения дефицита мощности начинается снижение частоты, так как нарушен баланс мощности, генерируемой и потребляемой в энергосистеме. Чем больше дефицит мощности в системе, тем быстрее снижается частота. Для устранения небаланса мощности необходимо или уменьшить нагрузку системы путем отключения части потребителей или увеличить генерацию путем ввода резерва мощности на электростанциях.

Восстановление баланса мощности в системе отключением части нагрузки производится или автоматически – действием автоматической частотной разгрузки (АЧР), или вручную по специальному заранее разработанному аварийному графику. Отключение нагрузки на предприятиях производится очередями. Если энергосистема располагает резервом мощности, вводимым после действия АЧР достаточно быстро, то для ускоренного восстановления питания отключен-

ных АЧР нагрузок эффективно применение частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ), которое постепенно очередями включает электропотребители в работу.

Аварийная разгрузка энергосистемы персоналом предприятия вручную по аварийному графику является полезным дополнением к АЧР. Отключением потребителей таким способом частота восстанавливается. Кроме того, отключение по аварийному графику применяется при недопустимом снижении напряжения в узловых точках сети, опасном по статической устойчивости нагрузки.

Регулирование электропотребления промышленного предприятия, направленное на выравнивание графика нагрузки энергосистемы, требует повышения уровня организации производства, способствует снижению удельных норм расхода электропотребления на выпуск продукции. Однако регулирование электропотребления требует разработки и выполнения дополнительных организационно-технических мероприятий (тарифное меню, включающее двухставочные тарифы с отдельной оплатой пиковой мощности и энергии, а также различные модификации тарифов на электроэнергию со ставками, дифференцированными по зонам суток (пиковая, полупиковая, ночная)) [1].

Литература

1. Регулирование активной мощности [Электронный ресурс]. –2020. – Режим доступа: <https://infopedia.su/10xb207.html/> Активная мощность/. – Дата доступа: 22.10.2020.
2. Иванов, В.С. Потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов. // Потребление электроэнергии. – 2002. – 336 с.

УДК 621.3

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБТН В ТЕРМО-ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Произведём расчет экономической эффективности после внедрения установки абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса (АБТН), где оборотная вода будет догреваться до температуры 70°C и использоваться в баках замочки и в мойках печей для очистки деталей после процесса закалки. Учитывая тот факт, что термическое производство работает круглосуточно, во время перемены и простоя оборудования, вода будет нагреваться для нужд ГВС в полном объеме. (После гальванического производства в гальваническом цеху МАЗ утилизируется пар общим расходом $1,68$ т/ч; для охлаждения оборудования в термическом цеху утилизируется вода с температурой 45°C и расходом 36 т/ч).

На рисунке 1 представлен вариант схемы энергоснабжения.

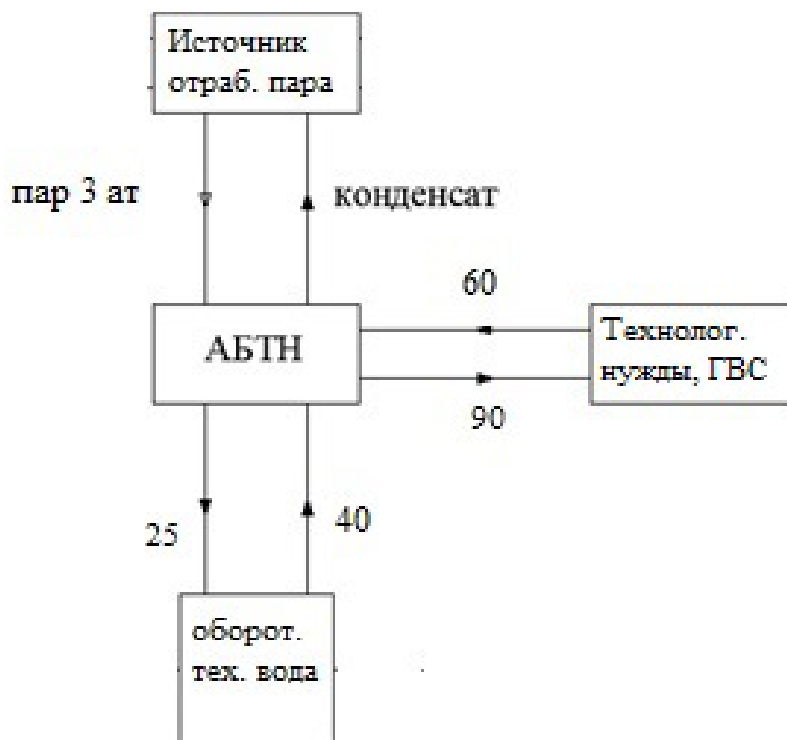


Рисунок 1 – Вариант схемы энергоснабжения

В данном случае предусматривается установка одного АБТН (*BROAD BDS-100*), на привод которого будем использовать насыщенный пар с котельной давлением $p = 0,3$ МПа, скрытая теплота парообразования $r = 2163,40$ кДж/кг) тепловой мощностью $1412,0$ кВт. Тепловой насос устанавливается для обеспечения нужд ГВС и технологических нужд. Прокладка новых сетей не требуется, т.к. предусматривается подключение к существующей системе.

Технические характеристики АБТН приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики АБТН

Наименование	Размерность	Значение
Количество	шт	1
Тепловой коэффициент	-	1,7
Тепловая мощность	кВт	1412,0
Длина	мм	5160
Ширина	мм	1300
Высота	мм	2500
Масса	т	11,5
Срок службы	лет	30
Стоимость	Тыс. \$	206.7

Тепловой энергия на привод АБТН находится по выражению:

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{П}}}{\mu},$$

где μ – тепловой коэффициент АБТН, $\mu = 1,7$;

$Q_{\text{П}}$ – полезная тепловая энергия, равная потреблению тепловой энергии на ГВС и технологические нужды, $Q_n = 3,84$ ГДж/ч (0,918 Гкал/ч). Для моек печей и бака замочки требуется вода с температурой 70°C, которая получается путём нагрева воды 15°C. Требуемый расход 16,69 т/ч.

$Q_{\text{ПР}}$ – тепловая энергия на привод АБТН.

Тепловой энергия на привод АБТН:

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{3,84}{1,7} = 2,26 \text{ ГДж/ч (0,54 Гкал/ч)}$$

Расход пара находится по выражению:

$$D = \frac{Q_{\text{ПР}}}{r}, \text{ т/ч}$$

$$D = \frac{2,26}{2163,4} = 1,04 \text{ т/ч}$$

Годовой отпуск тепловой энергии от АБТН находится по выражению:

$$Q_{\text{АБТН}}^{\text{год}} = Q_{\text{П}} \cdot \tau, \text{ ГДж/год}$$

где τ – продолжительность отопительного периода, $\tau = 8760$ ч/год.

Годовой отпуск тепловой энергии от АБТН:

$$Q_{\text{АБТН}}^{\text{год}} = 3,84 \cdot 8760 = 33,64, \text{ тыс. ГДж/год (8,034 тыс. Гкал/год)}$$

Расход топлива для обеспечения технологических нужд и ГВС находится по выражению:

$$V_T = \tau \cdot Q_{\text{П}} \cdot b_q, \text{ т.у.т./год}$$

где b_q – УРТ на производство тепловой энергии, $b_q = 165$ кг/Гкал.

Расход топлива для обеспечения технологических нужд и ГВС:

$$V_T = 8760 \cdot \frac{3,84}{4,187} \cdot 165 = 1325,61 \text{ т.у.т./год}$$

Расход топлива на производство пара на привод АБТН находится по выражению:

$$V_T^{\text{привод}} = \tau \cdot Q_{\text{ПР}} \cdot b_q, \text{ т.у.т./год}$$

Расход топлива на привод:

$$V_T^{\text{привод}} = 8760 \cdot \frac{2,26}{4,187} \cdot 165 = 780,18 \text{ т.у.т./год}$$

Определим годовой отпуск теплоты для технологических нужд по выражению:

$$Q_{\text{тех.н.}}^{\text{год}} = (Q_{\text{тех.н.}} - Q_{\text{П}} + Q_{\text{ПР}}) \cdot \tau$$

где $Q_{\text{тех.н.}}$ – полезная тепловая энергия, равная потреблению тепловой энергии на ГВС и технологические нужды, $Q_{\text{тех.н.}} = 3,42$ ГДж/ч (1,07 Гкал/ч);

$Q_{\text{ПР}}$ – тепловая энергия на привод АБТН;

$Q_{\text{П}}$ – тепловая энергия, отпущенная АБТН.

Определим годовой отпуск теплоты от котлов:

$$\begin{aligned} Q_{\text{тех.н.}}^{\text{год}} &= (3,42 - 3,84 + 2,26) \cdot 8760 = \\ &= 16,19 \text{ тыс. ГДж/год (3,85 тыс. Гкал/год)} \end{aligned}$$

Расчет годового расхода топлива осуществляется следующим образом:

$$V_T^{\text{год}} = \frac{16,19 \cdot 10^3}{33,706 \cdot 0,92} = 522,1 \text{ тыс. м}^3/\text{год.}$$

Годовой расход условного топлива на котлах при внедрении АБТН составляет величину:

$$V_{\text{к}}^{\text{усл.т.}} = \frac{522,1 \cdot 33,706}{29,309} = 600,4 \text{ тонн/год.}$$

Годовой отпуск теплоты до внедрения АБТН

$$Q_{\text{г без АБТН}} = 3,42 \cdot 8760 = 29,96 \text{ тыс. ГДж}$$

Расчет годового расхода топлива до внедрения АБТН:

$$V_{\text{т без АБТН}}^{\text{год}} = \frac{29,96 \cdot 10^3}{33,706 \cdot 0,92} = 966,15 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$$

Годовой расход условного топлива на котлах до внедрения АБТН:

$$V_{\text{к без АБТН}}^{\text{усл.т.}} = \frac{966,15 \cdot 33,706}{29,309} = 1111,1 \text{ тонн/год}$$

Годовая экономия после внедрения АБТН:

$$\Delta V = 1111,1 - 600,4 = 510,7 \text{ тонн/год}$$

Определим годовую экономию в денежном эквиваленте, принимая, что 1 т.у.т.=256\$:

$$256 \cdot 510,7 = 130739,2 \text{ \$/год}$$

Срок окупаемости АБТН определяется по выражению:

$$\frac{206700 \cdot 1,5}{130739,2} = 2,37 \text{ год}$$

где 1,5 – коэффициент учитывающий затраты на установку, монтаж и наладку.

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Мацук А.С., Клявдо М.А.

Научный руководитель – к.т.н. доцент Козловская В.Б.

Действующий ТНПА [2] устанавливает следующие показатели гармонических составляющих:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U^{(n)}}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;
- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) K_U , % в точке передачи электрической энергии.

Влияние высших гармонических составляющих в кривых тока и напряжения на электроприемники, в том числе и на осветительное оборудование, многообразно. Применительно к осветительному оборудованию это влияние может выражаться в:

- искажении формы кривой питающего напряжения;
- нагреве и дополнительных потерях в конденсаторах;
- ухудшении работы электрических и электронных элементов, что приводит к некорректной работе автоматики и релейной защиты и ведет к увеличению погрешности приборов учета электроэнергии;
- нагреве кабелей распределительной сети;
- снижении сроков службы.

При этом снижение срока службы осветительного оборудования происходит опосредованно, например, через перегрев электронных элементов дросселей, драйверов. Также возникает деградация структуры светодиода, что способствует преждевременному выходу его из строя.

В качестве пускорегулирующей аппаратуры для светодиодных светильников применяются драйверы, состоящие из полупроводниковых элементов, поддерживающие ток на постоянном уровне. Однако, в драйверах происходит повышенная эмиссия высших гармонических составляющих тока и напряжения. И при совместной работе сети с группой подобных светильников возможна ситуация, при которой суммирующиеся значения каждой гармоники оказываются выше их допустимого значения в питающей сети.

Однако в [2] не нормируются значения высших гармонических составляющих тока, что не позволяет оценивать результаты полученных измерений.

Таким образом, анализ влияния светодиодной нагрузки на сеть необходимо рассматривать с учетом двоякого действия драйверов. С одной стороны, они

обеспечивают защиту от влияния уровня входного напряжения на функционирование светодиодов, но при этом создают дополнительную эмиссию высших гармоник в питающую электрическую сеть.

Литература

1. Вагин, Г.Я., Влияние качества питающего напряжения на параметры искусственного освещения рабочего места / Г.Я Вагин, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, Терентьев П.В. // Фундаментальные исследования. – 2014. – . – Т. 2, № 3. – С. 247-252
2. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
3. Козловская, В. Б. Электрическое освещение: справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацкевич. - 2-е изд. - Минск: Техноперспектива, 2008. - 271 с,
4. <http://lighting.eep.kz/upload/iblock/405/4055f20bdb4eb55a32597cb31f3c7c19.pdf>

УДК 621.32

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ

Сурович П.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Калечиц В.Н.

Наружное освещение является важной частью повседневной жизни. Современное наружное освещение включает в себя освещение: дорог за чертой населенного пункта, проезжей части улиц и прилегающих к ним тротуаров, площадей, парков и скверов, дворов и прилегающих к ним пешеходных дорожек, расположенных во дворах детских и спортивных площадок. К наружному освещению относят архитектурно-художественное освещение фасадов зданий.

На становление световой среды города влияет множество факторов, среди которых эволюция структуры города, движения пешеходных масс, а также развитие инновационных технологий. Выбор световой среды города зависит от цветовых предпочтений местных жителей, устоявшейся культуры. Определено, что анализ традиций местной цветовой культуры состоит из следующих элементов [1]:

- палитры и влияния традиционных цветосочетаний в архитектуре, живописи, декоративно-прикладном искусстве и ремеслах;
- принципов структурирования полихромии исследуемых объектов (взаимоотношение цвета и формы, акцентов и фоновых цветов);
- анализа исторической эволюции архитектурной полихромии и цветовой культуры региона, ее современных тенденций, а также ее территориальных ареалов;
- символики цвета в культуре региона и ее роли в архитектурной полихромии.

Правильное световое планирование современных городов (рисунок 1) [3] является необходимым условием создания комфортной городской среды. Очень часто освещение городских объектов происходит хаотично, действия различных организаций, принимающих в этом участие не согласованы, а выбор объектов для архитектурно-художественного освещения не обоснован.

Создание единой методики подхода к планированию городского освещения и включение светового дизайна в систему градостроительного проектирования могло бы существенно повлиять на улучшение ситуации.



Рисунок 1 – Световое планирование города

Смена дневного образа города на ночной может происходить по различным сценариям, каждый из которых успешно применяется в тех или иных условиях городской среды, в зависимости от цели и задачи искусственного освещения. Например, светодизайнер, проектируя освещение может постараться сохранить дневной образ объекта или даже усилить его дополнительными акцентами.

В современном световом урбанизме существует несколько подходов, позволяющих с успехом решать задачи освещения ночного города. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки.

Можно выделять структуру города с помощью всех видов городского освещения. Выделять городской каркас, состоящий из улично-дорожной сети, системы общественных центров и парковых зон. Эта методика уже стала определенным стандартом в световом урбанизме [1].

Еще один подход в световом урбанизме основан на методах архитектурно-ландшафтного анализа и изучения объемно-планировочной композиции города с учетом его исторического развития.

В последнее время очень перспективным в световом урбанизме становится использование ментальных карт города, основанных на теории по городскому планированию [1]. В данной теории предложено в образе города выделять пять элементов: пути, районы, границы, узлы и ориентиры (достопримечательности). Этот подход может быть очень полезен на стадии концепции (до детального проектирования отдельных функциональных зон и элементов города).

В освещении городских пространств важнейшим вопросом является не то, как и чем освещать, а какие объекты выбрать и какие задачи решать с помощью

света. В процессе создания концепции необходимо рассматривать город как сложный объект, в котором нужно выделить и подчеркнуть доминанты и акценты ночного образа, в качестве опорных точек использовать высокие здания, формирующие силуэт. Планируя освещение улиц и набережных учитывать фокусы замыкания перспектив и здания, формирующие «речной фасад» города (рисунок 2) [4]. Здания, находящиеся в составе архитектурных ансамблей и памятники архитектуры, должны быть освещены в соответствии с их назначением и месторасположением. относительно основных доминант города и туристических достопримечательностей на основных маршрутах экскурсий.

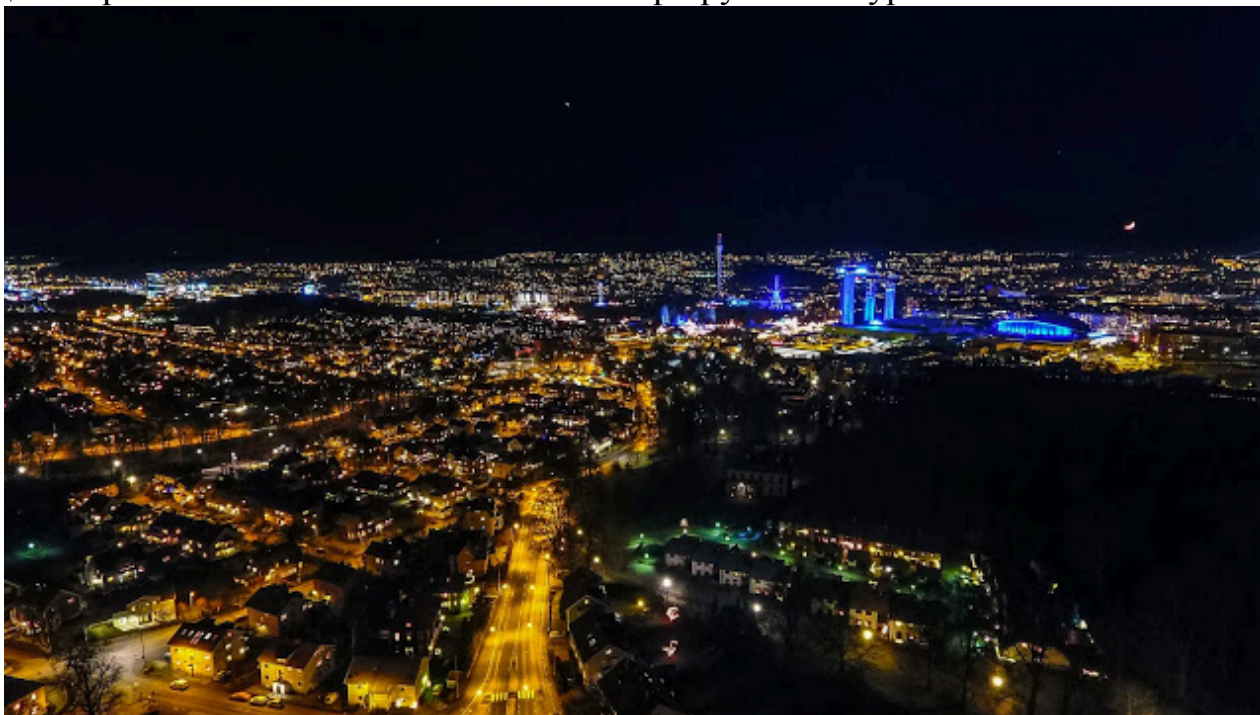


Рисунок 2 – «Речной фасад» города

Ментальные карты, элементы ночного образа и приемы светодизайна могут применяться на разных уровнях световой планировки: на макроуровне – город и районы, мезоуровне – объекты или микроуровне – зоны и участки объектов. В световом урбанизме необходимо применять мультидисциплинарный подход, в том числе и с использованием ментальных карт города с целью обеспечения взаимодействия между специалистами разных областей: маркетологов, урбанистов, архитекторов, социологов, светотехников под творческим руководством светодизайнера. Появилась необходимость включения светового дизайна города в обязательную часть градостроительных проектов.

Другой подход можно наблюдать в проекте реконструкции [1], в котором три варианта цветового проектирования города: поясной, районный и артериальный. Подход поясной окраски центра города имеет теплые тона от красновато-оранжевого до желтовато-зеленого; районный, прилегающий к нему – с преобладанием зеленоватых и синих тонов, в пригородах – светло-серых, и чем дальше от центра, тем ближе к белым строятся таким образом, что, чем ближе к центру города, тем интенсивнее цвет, чем ближе к окраинам, тем более цвет приближа-

ется к белому. Артериальный подход – когда все улицы, магистрали, коммуникации – цвета холодных оттенков и контрастной цветовой гаммы. Если цвет определяет ограничения на поведение, диктует предпочтения, тогда он является одним из носителей определенной социальной функции; художественным, дающим эмоционально-духовную оценку объекта, позволяющим осмыслить его как символ.

Обратим внимание на карту засветки в Республике Беларусь (рисунок 3) [2]. Данная карта показывает степень светового загрязнения неба вблизи городов, посёлков и деревень. Засветка неба вызывает неудобства и затруднения при наблюдениях объектов космоса.

Зоны на карте выделены разными цветами для более комфортной ориентации при работе с картой. Зоны обозначают:

- Белая – центр городов – абсолютная засветка (10 баллов);
- Ярко-красная – полная засветка внутри городов (9-10 баллов);
- Красная – очень сильный уровень засветки (9 баллов);
- Оранжевая – сильный уровень засветки от городов (8-9 баллов);
- Темно-оранжевая – высокий уровень засветки (7-8 баллов);
- Жёлтая – умеренно высокий уровень засветки от городов (6-7 баллов);
- Темно-желтая – повышенный уровень засветки (5-6 баллов);
- Зелёная – средний уровень засветки от городов (4-5 баллов);
- Темно-зеленая – умеренный уровень засветки (3-4 балла);
- Синяя – незначительный уровень засветки (2-3 балла);
- Темно-синяя – низкий уровень засветки (1-2 балла);
- Светло-серая – минимальный уровень засветки (0-1 балл);
- Темно-серая – отсутствие засветки (0 баллов).

Прогрессивное наблюдение объектов дальнего космоса можно производить, начиная с границы между жёлтой и зелёной зоны, но самые лучшие наблюдения имеют место при наблюдениях при полном отсутствии засветки.

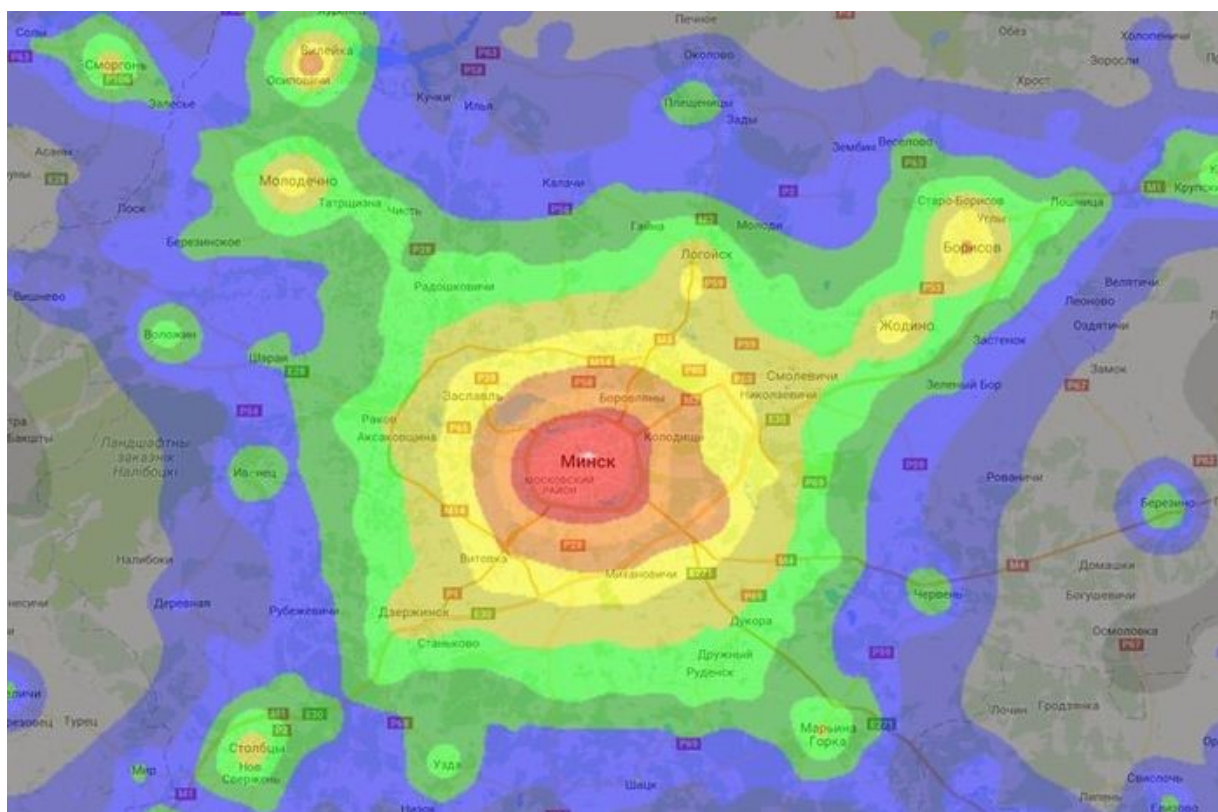


Рисунок 3 – Карта засветки РБ

Традиционно уличное утилитарное освещение городов выполняется с применением осветительных приборов с дуговыми натриевыми лампами высокого давления. Свет, производимый натриевой лампой, обладает характерным оранжевым оттенком, что является причиной крайне невысокого коэффициента цветопередачи. Использование светодиодных источников света с высокой цветопередачей дает ряд существенных преимуществ:

- увеличение дальности распознавания объектов;
- увеличение субъективного комфорта и безопасности горожан;
- оказывает тонизирующий эффект.

Модернизация системы уличного освещения с переходом к белому свету является стандартной практикой во многих городах Европы и мира. При этом в некоторых национальных стандартах применяется уменьшение требуемого уровня освещенности при использовании источников света, дающих белый свет. Белый свет имеет разную цветность, в среднем от 2700 до 7000 К. Холодные оттенки используются для освещения металла. Теплый – для дерева и теплых цветов и т. д. На улицах необходимо использовать нейтральный свет около 4000 К из-за оптимальной светоотдачи светильника, и чтобы не нарушать ночной облик рядом стоящих зданий и сооружений [3].

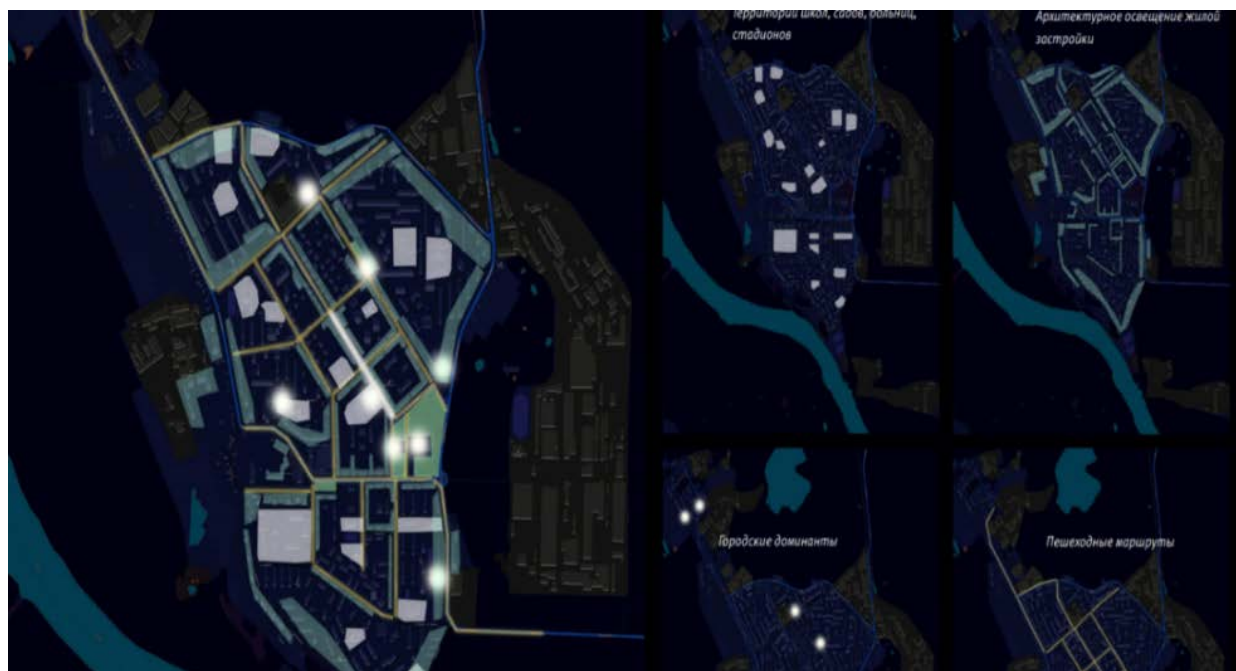


Рисунок 4 – Пример подсветки города

Световая городская среда (рисунок 4) [4] формируется из нескольких составляющих. Это архитектурное освещение доминант, архитектурное освещение городской застройки, утилитарное, садово-парковое. При разработке архитектурных проектов освещения необходимо придерживаться правила, при котором яркость освещения городских доминант будет выше яркости освещения городской застройки и утилитарного освещения. При проектировании света в парках необходимо достигать уровня освещенности не менее 15 лк.

На карте указаны основные пешеходные маршруты в городе. Это дороги, по которым жители идут в сады, школы, гимназии, спорткомплексы, парки и скверы. Не на всех улицах города на тротуарах соблюдаются нормы освещенности. Это приводит к визуальному дискомфорту и снижению уровня безопасности на дорогах города. Для того, чтобы избежать этого необходимо освещать пешеходные маршруты (рисунок 5,6) [4].

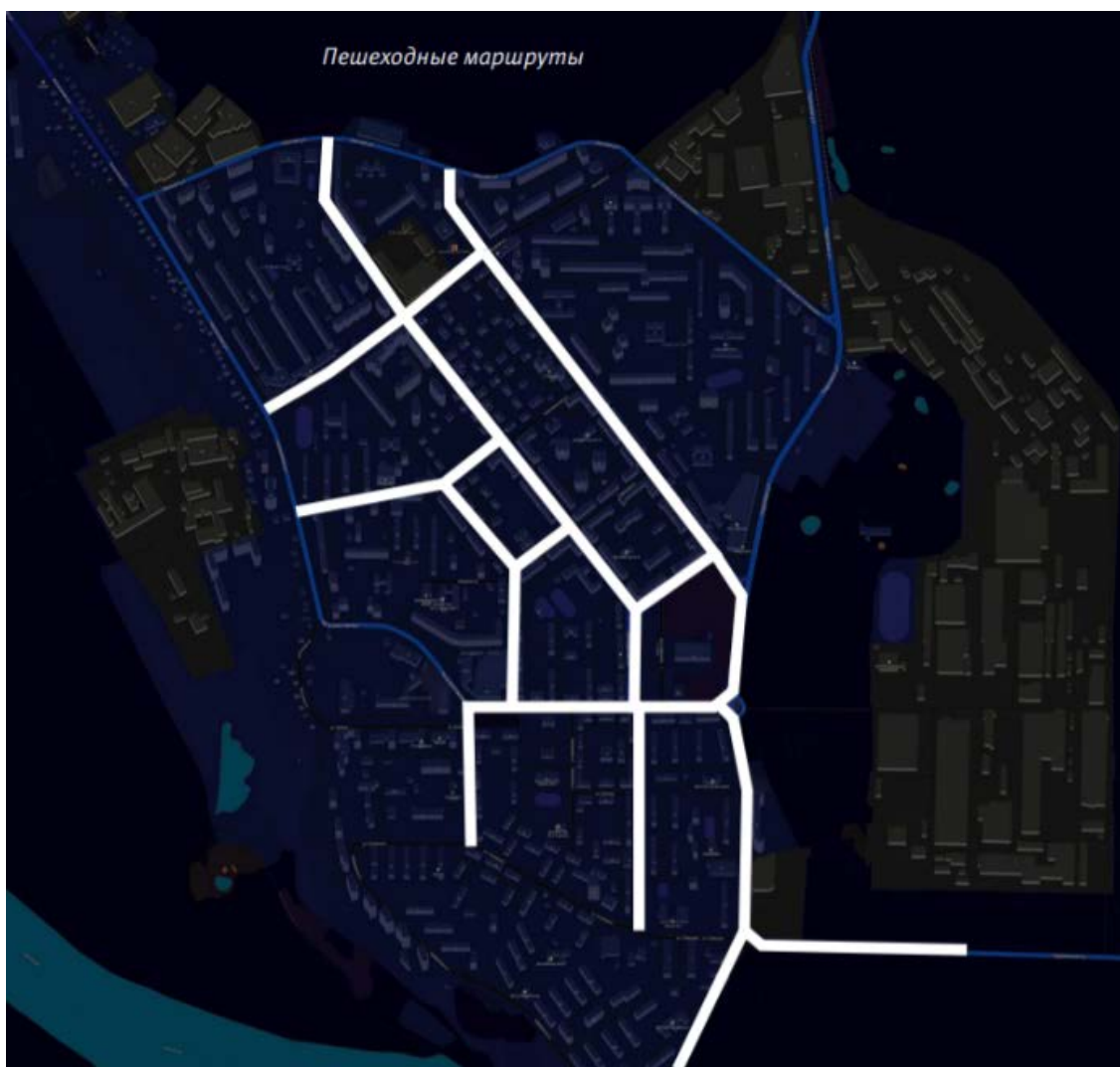


Рисунок 5 – Обозначение пешеходных маршрутов

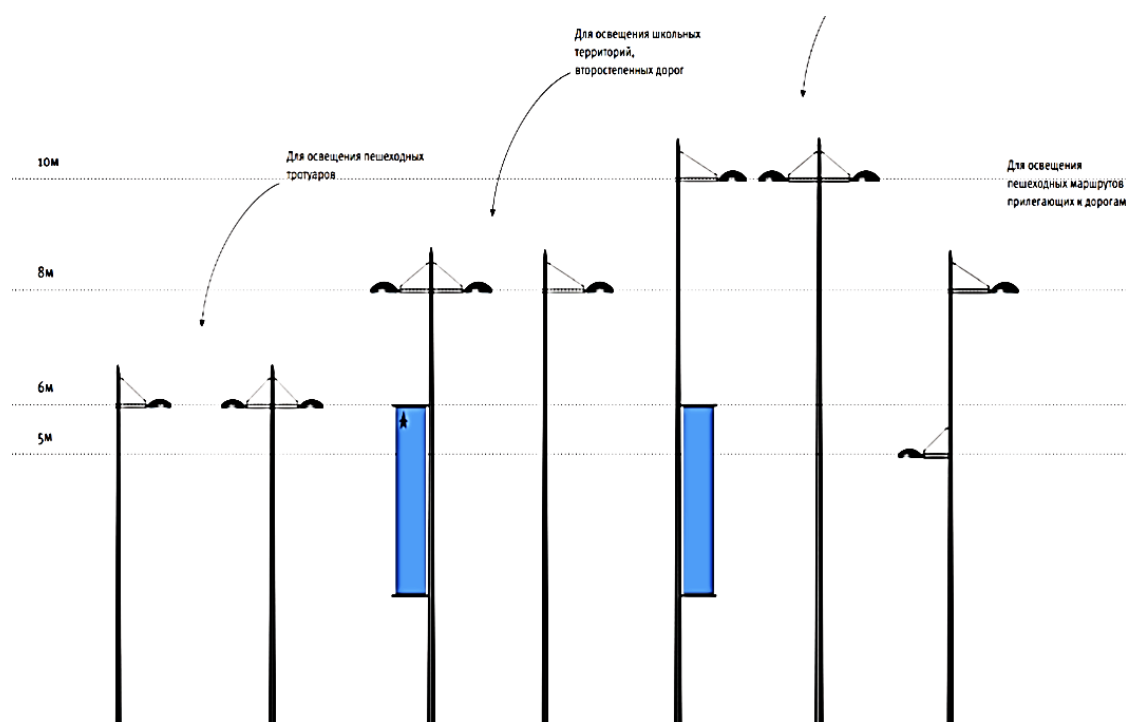


Рисунок 6 – Предлагаемые опоры освещения

Сегодня невозможно представить современный город без архитектурной подсветки. Она создает уникальный городской образ, кроме того способствует безопасности пребывания людей на улицах города в вечернее и ночное время суток. Однако проектирование архитектурного освещения требует учета множества различных факторов.

Литература

1. «Колористика города как искусство организации образа города» Н.В. Ситникова. Мир науки, культуры, образования. № 2– 2010. № 2– с.191-196.
2. Карта засветки РБ. Световое загрязнение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://djllorenz.github.io/astronomy/lp2006/overlay/dark.html>–Дата доступа: 17.03.2013.
3. Создание единой цветоцветовой среды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lytkarino.mosreg.ru/files/2020/01/16/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%BE%D0%BC_1.compressed1.pdf. – Дата доступа: 19.06.2018.
4. Студия светового дизайна. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lidscroll.blogspot.com/2017/03/blog-post_27.html – Дата доступа: 27.03.2017.
5. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2010.– 100 с.

УДК 621.3

**«БАКТЕРИАЛЬНЫЙ» ГЕНЕРАТОР - ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКИ
ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ**

Куршук А.А., Матюнина К.В., Нижникова А.П.
Научный руководитель – ассистент Смолковская Д.М.

Энергетика давно внедрилась в повседневную жизнь человека и получила широкое распространение. Овладение энергией стало способом выживания для человечества. В итоге энергия является важнейшим фактором, определяющим жизнь и развитие человека.

Энергетика – топливно-энергетический комплекс, хозяйственно-экономической деятельности человека, охватывающий энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии.

Энергетические ресурсы – природные источники энергии, которые можно превращать в энергию различных видов. Энергетические ресурсы могут воспроизводиться с течением времени, и тогда они называются возобновляемыми. Когда пополнения запасов из природных источников не происходит и резервы неумолимо уменьшаются со временем, то такие энергетические ресурсы называются невозобновляемыми.

С развитием человечества потребность в электроэнергии постоянно растёт. А запасы ядерного и традиционного топлива конечны. Также стоит отметить, что при использовании таких источников энергии, в окружающую среду выбрасывается огромное количество парниковых газов и ядовитых веществ. В настоящее время всё большее количество стран в своей энергетической политике, обращают внимание на альтернативные источники энергии:

- энергия солнца,
- энергия ветра,
- энергия воды рек и морей,
- биоэнергетика,
- энергия приливов и волн,
- тепловая энергия Земли,
- атмосферное электричество и грозовая энергетика.

Ведь это экологически чистые, возобновляемые ресурсы, при преобразовании которых, человек получает электрическую и тепловую энергию, используемую для своих нужд.

Одной из последних разработок является производство электроэнергии бактериями.

В основе этого лежит создание «бактериального» электрического генератора. Этот генератор вырабатывает электрическую энергию при помощи резиновых листов и споров определенного вида бактерий. При исследованиях ученые заметили, что бактерии *Bacillus subtilis* при определенных условиях, а именно отсутствие влаги, сокращаются и превращаются в споры (рисунок 1). Когда эти споры контактируют с влагой, то они возвращаются к исходной форме (рисунок 2). Это свойство бактерий подтолкнуло ученых на мысль о возможности аккумуляции в них энергии.



Рисунок 1 – Сокращение спор

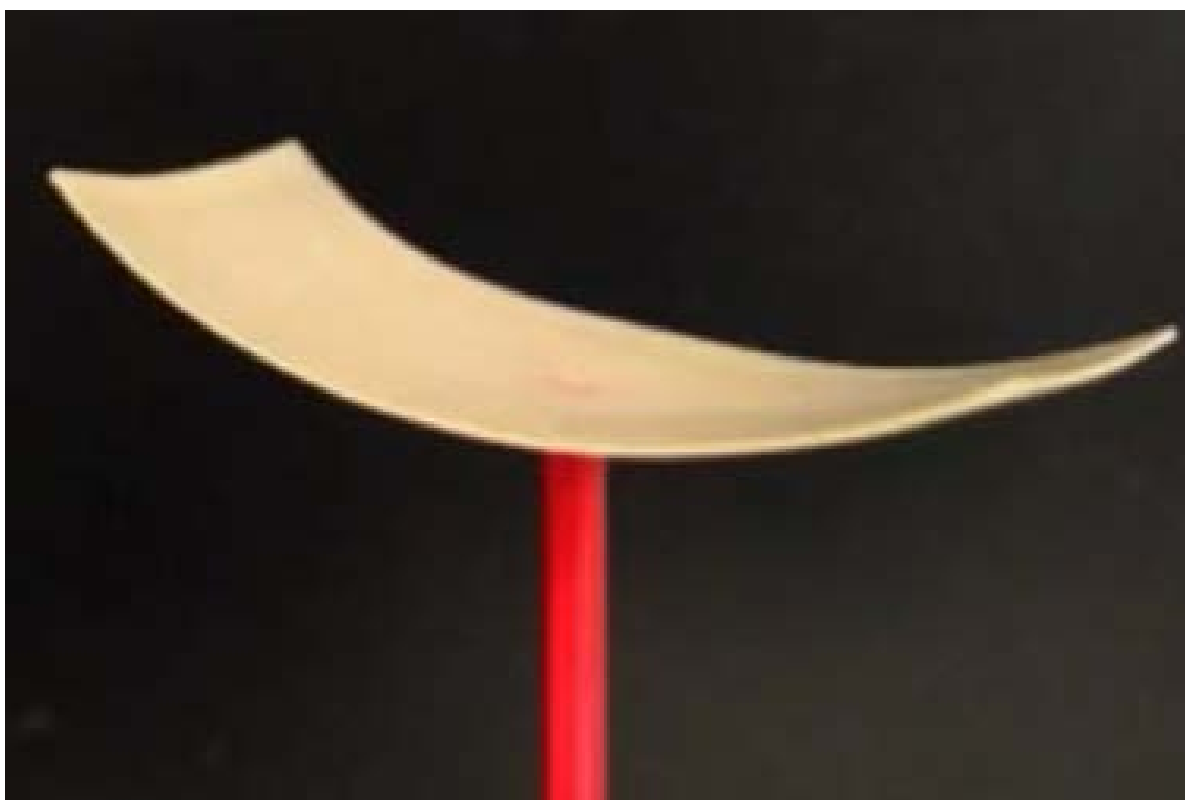


Рисунок 2 – Возвращение к оригинальной форме

Основой работы генератора является сокращение резиновых лент покрытых слоем спор бактерий *Vacilus subtilis* при изменении влажности окружающей

среды, что влечет за собой вращение магнита. Затем поле магнита возбуждает электрический ток в обмотках катушек, которые расположены рядом.

Но у этого генератора (рисунок 3) крайне малая эффективность. Учёные ведут активные работы по увеличению возможности аккумулирования энергии этими спорами. Эффективность разработки увеличивается для получения энергии в регионах, где наблюдаются большие суточные колебания влажности воздуха: на побережьях морей, океанов и вблизи искусственных водоемов.

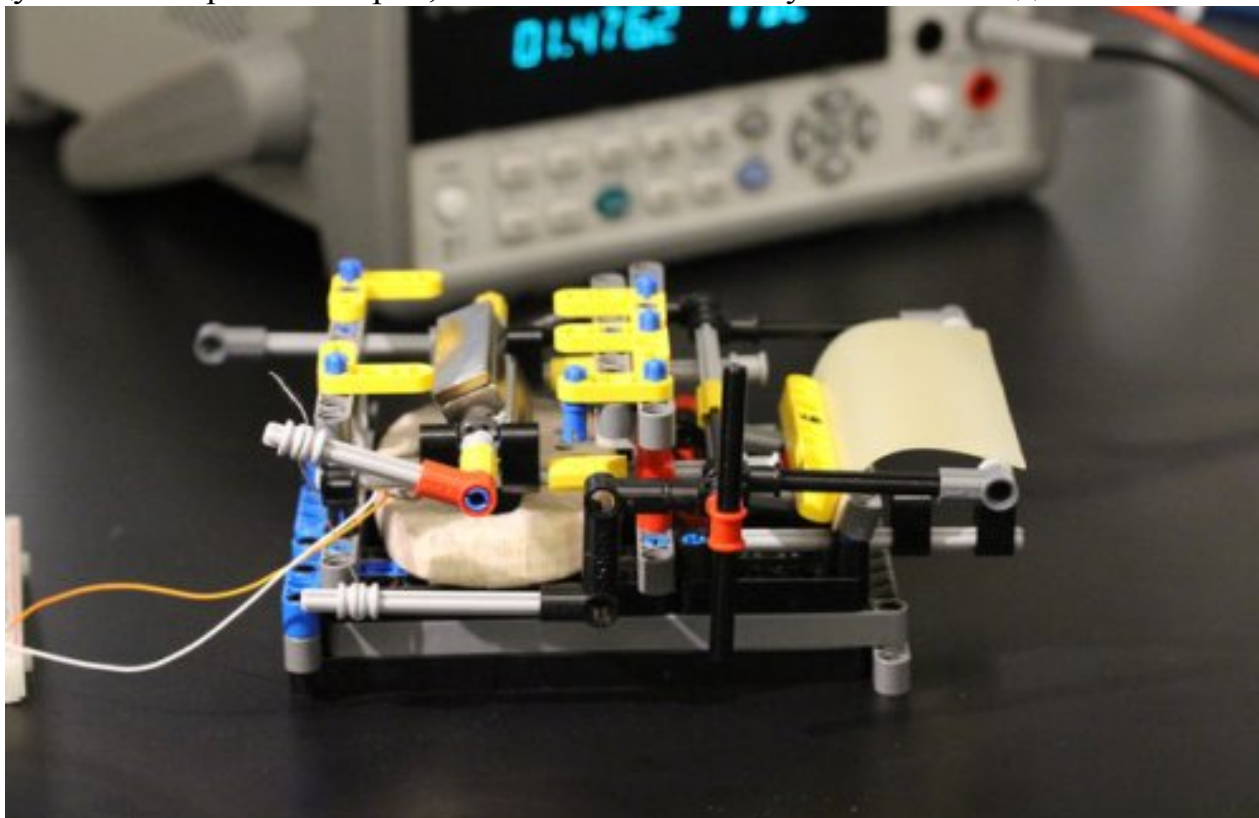


Рисунок 3 – «Бактериальный» электрический генератор

В условиях низкой скорости ветра или несолнечных дней появляется возможность использовать при помощи специальных генераторов только изменения влажности воздуха. Это исследование может стать источником экологически чистой энергии.

Литература

1. Бактерии и влага – еще один возобновляемый источник экологически чистой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dailytechinfo.org/energy/5594-bakterii-i-vlaga-esche-odin-vozobnovlyаемуу-istochnik-ekologicheski-chistoy-energii.html> - (Дата доступа: 14.10.2020).
2. Книга 1. От огня и воды к электричеству [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/intro> - (Дата доступа: 14.10.2020).

УДК 621.316.9

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Стаскевич П.И.

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

Электродвигатели составляют до 90% потребителей электроэнергии. В связи с этим актуальны принципы выполнения молниезащиты электрических машин, которая для них имеет свои особенности [1]:

1. Электрическая прочность изоляции машин меньше, чем у других;
2. Отсутствие ограничителей перенапряжения;
3. При аварии электрической машины после ее отключения и снятия возбуждения продолжает протекать ток, вызванный ЭДС остаточного намагничивания, в связи с чем повреждения значительнее;
4. Выход из строя и ремонт электрических машин несет большой экономический ущерб;

С учетом отмеченного для надежной молниезащиты используют специальные мероприятия. Так, на подходах к воздушным линиям (ВЛ) устанавливаются ограничители перенапряжения (ОПН), которые снижают величину импульсных напряжений путем отвода части тока от набегающей волны в землю. Дополнительно устанавливают токоограничительные реакторы и конденсаторы параллельно электрической машины, которые предназначены для уменьшения крутизны фронта импульса.

Для мощных машин (выше 25 МВА при подключении к ВЛ на деревянной опоре и выше 50 МВА при подключении к ВЛ на железобетонной или металлической опоре) необходимо использовать разделительный трансформатор перед подключением к ВЛ. Трансформатор, в свою очередь, значительно ограничивает амплитуду и крутизну импульсов грозовых перенапряжений на зажимах машины. Для защиты блочных трансформаторов, связанных с генераторами мощностью 100 МВт и выше, со стороны ВН должны быть установлены ОПН.

Маломощные электрические машины можно подключать к ВЛ напрямую, так как трансформатор ставить невыгодно по технико-экономическим показателям.

Дополнительным средством защиты является кабельная вставка, которая добавляет емкость и вместе с ОПН отводит большую долю тока в землю. Требуется, чтобы длина кабельной вставки была не менее 300 метров, длина защищенного подхода более 100 м, защитная емкость должна быть не меньше 0,5 мкФ на фазу[2].

На рисунке 1 изображены различные схемы молниезащиты мощных электрических машин [3]:

- а) Схема с ВЛ на железобетонной опоре;
- б) схема при длине линии менее 300 метров;
- в) схема при наличии реактора;
- г) схема с реактором и кабельной вставкой более 50 м.

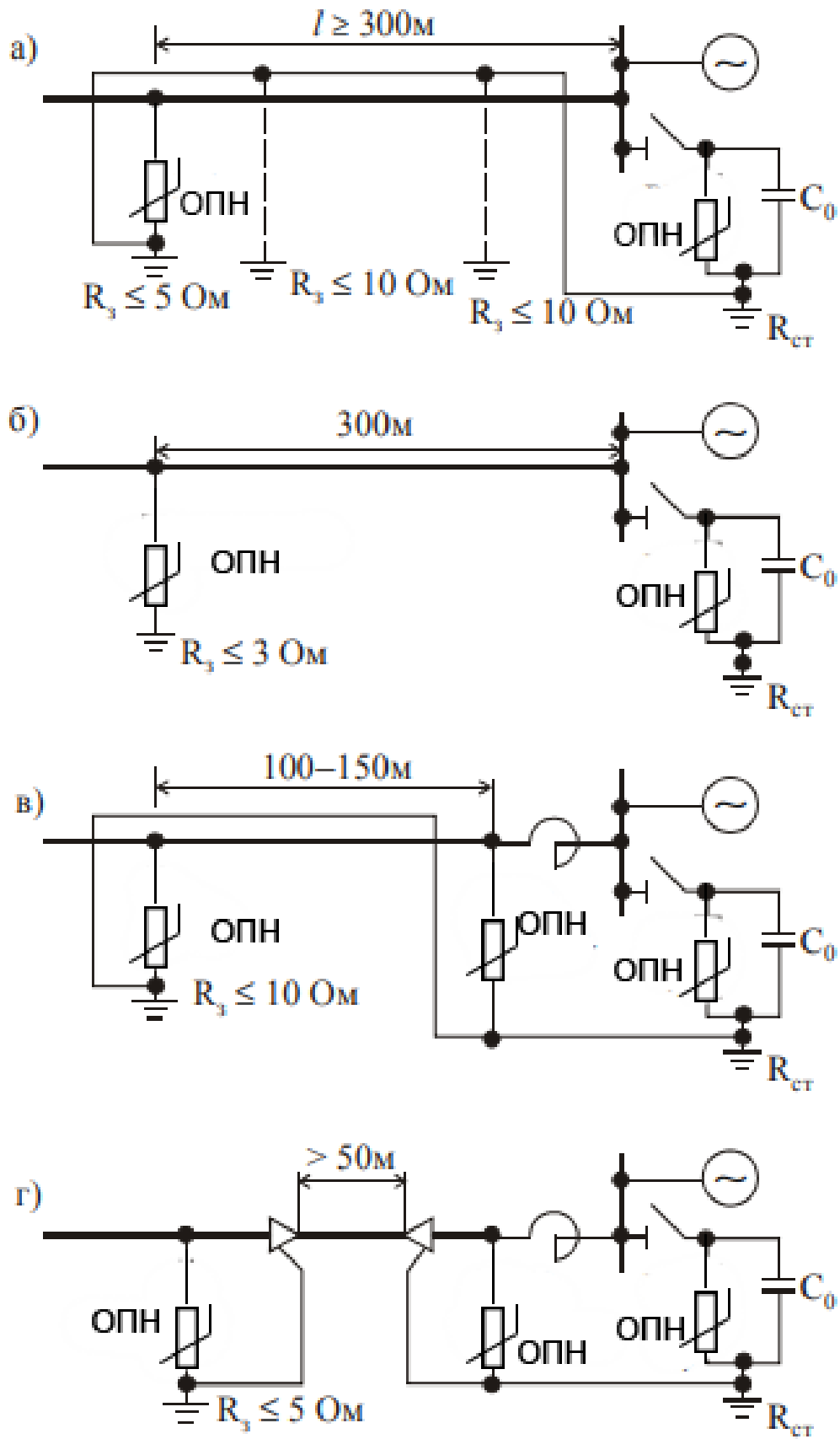


Рисунок 1 – Молниезащита подходов к подстанциям с электрическими машинами мощностью более 25 МВА

На рисунке 2 изображены различные схемы молниезащиты маломощных электрических машин:

- а) Схема с ВЛ на деревянной опоре;
- б) схема при наличии кабельной вставки;

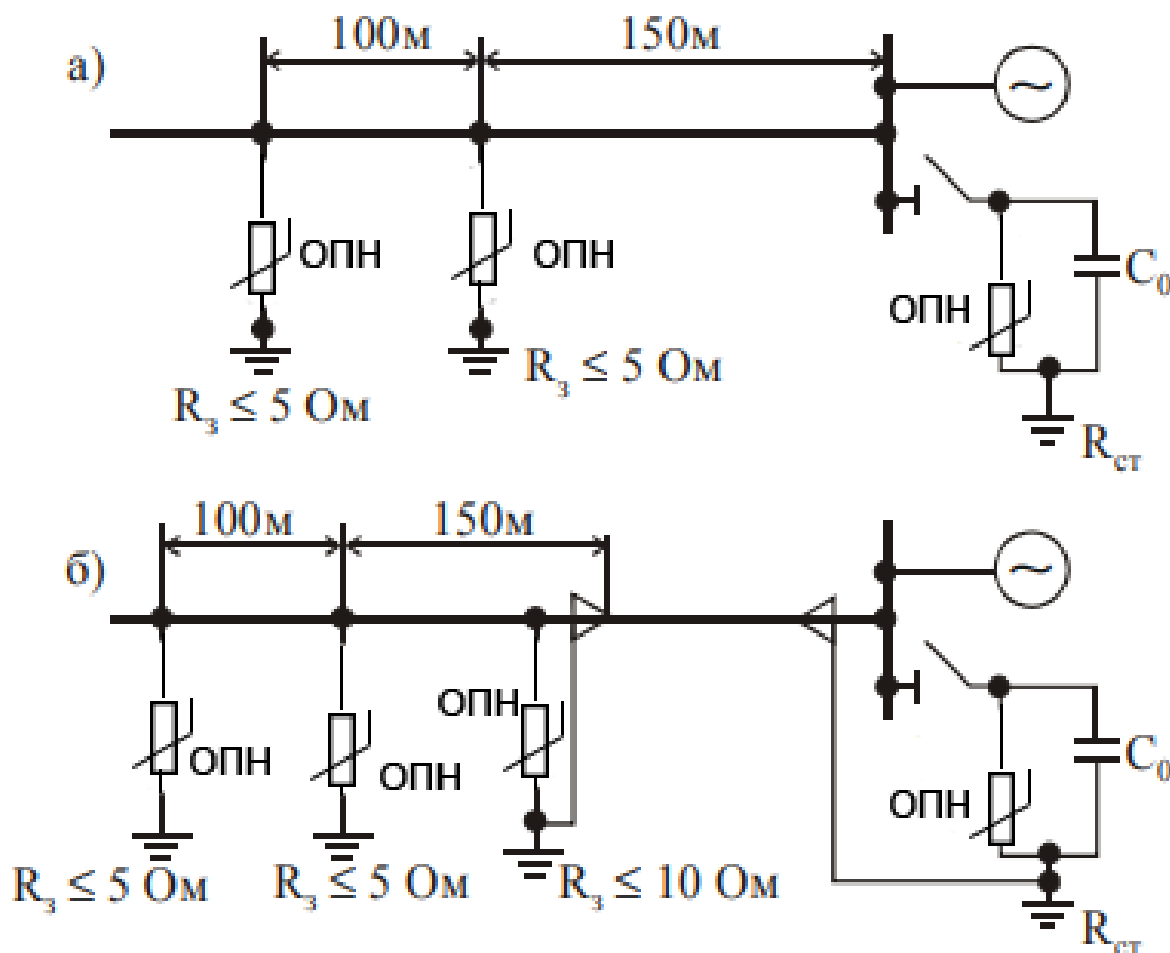


Рисунок 2 – Молниезащита подходов к подстанциям с электрическими машинами мощностью менее 3 МВА

При подключении электрической машины через токопровод его экран защищает от индуцированных перенапряжений. Если же используются шинные мосты или гибкие воздушные линии, то необходимо устанавливать конденсаторы на случай защиты от индуцированных перенапряжений при ударе молнии вблизи шинного моста.

Рекомендуется подключать электрические машины к трансформаторам с соединением обмоток звезда с нулевым проводом/треугольник или звезда/треугольник. В таком случае существенно снижается вероятность появления перенапряжений, которые могут быть опасны для изоляции машины.

Литература

1. ТКП 336-2011 / Министерство энергетики Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 194 с.
2. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 124 с.

3. Сайт Электрические сети [Электронный ресурс] / Москва, 2015. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/zaschita-setey-6-35-kv-ot-perenapryazheniy/Page-11.html>. – Дата доступа: 13.10.2020.

УДК 621.3

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Энергоэффективность – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. [1,2].

В соответствии с статьёй 1 Закона РБ Об Энергосбережении: Энергетическая эффективность (энергоэффективность) – характеристика, отражающая отношение полученного эффекта от использования топливно-энергетических ресурсов к затратам топливно-энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта.

Для промышленных предприятий в качестве показателя энергоэффективности их работы используется показатель энергоёмкости - показатель удельного расхода энергии на производимую продукцию, который показывает, сколько энергоресурсов или энергии затрачивается на производство единицы продукции предприятия. Сравнивая эти показатели для различных предприятий, выпускающих однородную продукцию, можно сделать вывод об сравнительной их энергоэффективности. Чем ниже расход энергии на единицу продукции, тем энергоэффективнее функционирует предприятие. Следует заметить, что энергоэффективность зависит от применяемой технологии, которая может быть как расточительной в части использования энергии, так и энергосберегающей. Эффект от использования энергии, выражаемый в объеме произведенной продукции, при энергосберегающей технологии, будет значительно больше, чем для устаревшей технологии, которая потребляет то же количество энергии.

Энергоэффективность не следует отождествлять с экономической эффективностью энергопотребления. Самая энергоэффективная установка не всегда может оказаться самой экономически эффективной, так как для достижения высокой энергоэффективности могут потребоваться значительные инвестиции, окупаемость которых в приемлемые сроки не всегда может быть обеспечена получаемой экономией энергии. Достижение высокой энергоэффективности, как правило требует значительных инвестиционных затрат и получаемая экономия энергии должна быть сопоставлена с соответствующими инвестиционными затратами. Таким образом, можно говорить об оптимальной энергоэффективности.

Энергосбережение на предприятии является одной из самых актуальных проблем, с которой сталкивается промышленность.

Энергосберегающие мероприятия позволяют значительно сократить затраты на энергоносители и тем самым положительно влиять на технико-экономические показатели работы предприятия или производства, что ведет к увеличению рентабельности и улучшению конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции или услуг.

Работы по энергосбережению ведутся по следующим направлениям:

- увеличение эффективности производственного процесса;

- экономия энергоресурсов.
- На сегодняшний день используется ряд эффективных способов для экономии электроэнергии. Основные из них:
- модернизация оборудования;
- применение энергосберегающих технологий;
- уменьшение потерь электроэнергии в электроприемниках и системах электроснабжения;
- регулирование режимов работы оборудования;
- улучшение качества электроэнергии.

Во время организации своей деятельности предприятия используют энергоресурсы различных параметров; видов; назначения.

В качестве энергоресурсов чаще всего на предприятии используются: вода; тепло; электроэнергия.

Показатели энергоэффективности :

Показатель энергоемкости, используемый для измерения энергоэффективности, может принимать различные формы, в зависимости от того, по какому виду энергоносителей выполняется расчет. Можно выделить следующие показатели [3]:

Электроемкость продукции, определяемая отношением величины потребляемой электроэнергии \mathcal{E} к размеру выпуска продукции Π ,

$$\varepsilon_y = \frac{\mathcal{E}}{\Pi}.$$

Теплоемкость продукции, определяемая отношением величины потребляемой тепловой энергии Q к размеру выпуска продукции Π ,

$$q_y = \frac{Q}{\Pi}.$$

Топливоемкость продукции, которая определяется отношением величины потребляемого топлива B к размеру выпуска продукции Π ,

$$b_y = \frac{B}{\Pi}.$$

Топливоемкость может различаться по видам топлива (природный газ, жидкое топливо, уголь), а тепловая энергия может различаться по видам тепла (пар, горячая вода).

Обобщающую характеристику энергоэффективности можно выразить показателем энергоемкости, который рассчитывается для всех видов потребляемой энергии.

Обобщающая характеристика энергоэффективности определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{(\mathcal{E} \cdot k_1 + Q \cdot k_2 + B)}{\Pi},$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, соответственно переводящие электроэнергию и тепловую энергию в топливные единицы измерения (в тонны условного топлива).

Энергоемкость можно определять для отдельных предприятий, отраслей промышленности, для всей промышленности, для страны в целом. Если расчет ведется для предприятия, промышленности или отрасли промышленности, то в качестве показателя Π принимается объем выпущенной продукции. Если же расчет ведется для страны в целом, то в качестве Π принимается валовой внутренний продукт.

Литература

1. Энергоэффективность / wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергоэффективность> – Дата доступа: 25.10.2020.
2. Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск: БГАТУ, 2010. – 240 с.
3. Хаустович, Н. А. Проблемы повышения энергоэффективности производства и потребления энергии. – «Экономика и управление». № 3, 2007. – 64-69с.

УДК 621.314

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
МАГНИТОПРОВОДА В ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Ковзан А.А., Коротченко С.Н.

Научный руководитель – ассистент Протасеня М.Л.

Потери в силовых трансформаторах и автотрансформаторах составляют существенную долю (до 20%) общих потерь электроэнергии в электрических сетях и являются одной из составляющих нормативов технологических потерь электроэнергии на ее передачу.

Основными электрическими параметрами силового трансформатора, характеризующими экономичность его работы, являются потери холостого хода (ПХХ) и короткого замыкания (ПКЗ). При изучении проблем потерь электроэнергии в силовых трансформаторах рассмотрим их основные причины. Потери холостого хода возникают вследствие перемагничивания активной стали сердечника. Они являются постоянной составляющей полных потерь мощности и зависят не от нагрузки трансформатора, а от качества трансформаторной стали (марки, толщины), технологии изготовления магнитной системы, качества проектирования магнитопровода и материальной базы. По этой причине ПХХ являются наиболее значимыми, и для уменьшения потерь энергии, следует стремиться уменьшать в первую очередь потери холостого хода.

По магнитным свойствам вещества делятся на: **диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.**

Особыми магнитными свойствами обладают вещества, называемые **ферромагнетиками. Ферромагнетики** – вещества, которые значительно усиливают внешнее магнитное поле. **Магнитная проницаемость** ферромагнитных материалов может достигать значений в несколько сотен тысяч, то есть ферромагнитные материалы способны усиливать внешнее магнитное поле в сотни тысяч раз.

Ферромагнитными свойствами обладают железо, никель, кобальт и некоторые сплавы.

Ферромагнетики, в которых внешнее поле усиливается благодаря сложению собственных магнитных полей электронов, обладают значительно большей магнитной проницаемостью, чем парамагнетики. **Магнитная проницаемость ферромагнетика** $\mu = B/H$ непостоянна и зависит от напряженности магнитного поля.

В зависимости от величины потерь на перемагничивание, форм петли гистерезиса, ферромагнитные материалы подразделяются на магнитомягкие и магнитотвердые. Магнитомягкие материалы (электротехнические стали, железоникелевые сплавы, ферриты) имеют малые потери в сердечнике и применяются в устройствах, предназначенных для работы при переменных магнитных потоках (трансформаторы, электродвигатели и др.). Магнитотвердые материалы (углеродистые стали, вольфрамовые сплавы и др.) используются для изготовления постоянных магнитов.

Петля гистерезиса представляет собой кривую намагничивания ферромагнетиков. Если первоначально ненамагниченное вещество намагнитить до насыщения (начальная кривая), а затем уменьшать и потом снова увеличивать напряженность магнитного поля, то изменение индукции не будет следовать начальной кривой.

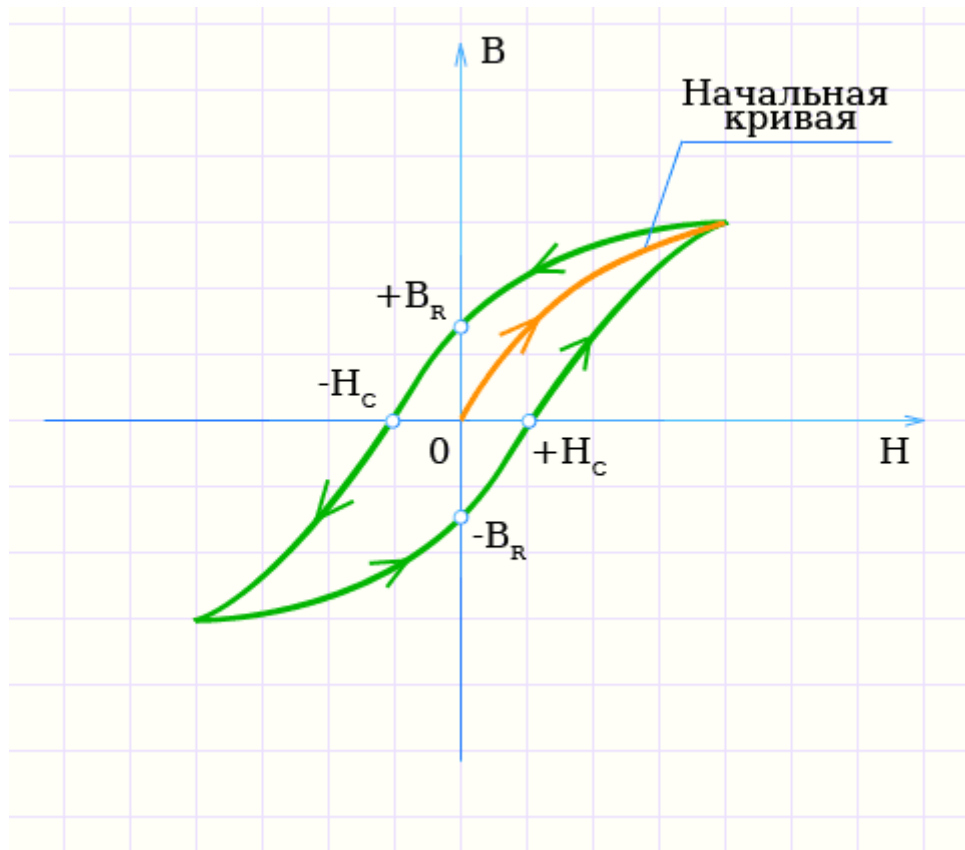


Рисунок 1 – Петля гистерезиса

Разберем основные составляющие петли гистерезиса.

Начальная кривая намагничивания - кривая намагничивания предварительно размагниченого ферромагнетика ($B=0$; $H=0$) при плавном изменении магнитной напряженности H . Представляет собой зависимость $B(H)$ и близка к основной кривой намагничивания.

Коэрцитивная (задерживающая) сила - напряженность магнитного поля H_c , необходимая для доведения магнитной индукции в предварительно намагниченом ферромагнетике до нуля. Остаточная индукция - значение индукции магнитного поля B_R при равной нулю напряженности магнитного поля. В справочной литературе обычно дается для предельного цикла.

Магнитопровод или сердечник трансформатора позволяет более эффективно преобразовывать напряжение, уменьшая при этом потери. Для изготовления сердечников используют специальную ферромагнитную сталь.

Конструктивно сердечники разделяют на:

- стержневые;
- броневые;
- тороидальные.

Стержневой сердечник имеет вид буквы П. Обмотки насаживаются на стержни, а сами стержни соединяются ярмом. Такая конструкция магнитопровода позволяет легко осматривать и ремонтировать обмотки. Поэтому такой тип характерен для средних и мощных трансформаторов.

Броневой сердечник Ш-образной формы. Обмотки находятся на центральном стержне. Броневые трансформаторы сложнее в производстве. И ремонтировать обмотки в них сложнее.

Тороидальный сердечник имеет вид кольца с сечением прямоугольной формы. Обмотки наматываются прямо на него. Поэтому этот тип сердечников считается самым энергетически эффективным.

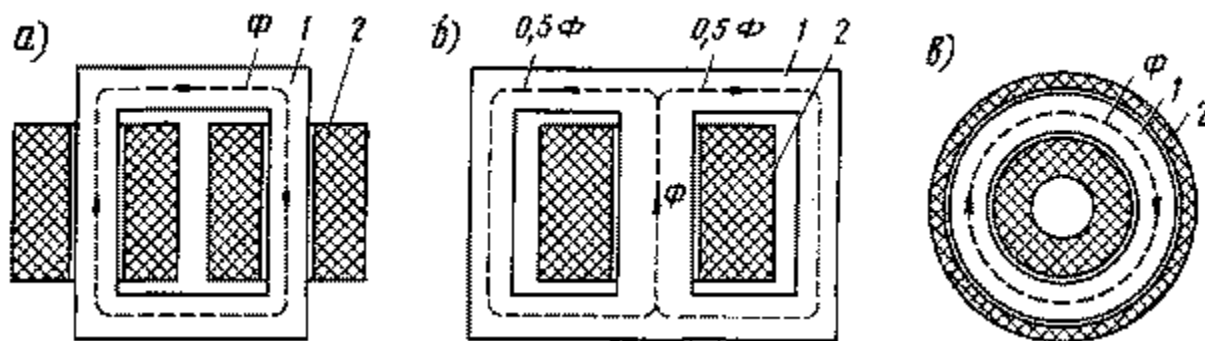


Рисунок 2 – Конструктивное исполнение магнитопровода: 1- сердечник, 2 – обмотка. а – стержневой сердечник, б – броневой сердечник, в – тороидальный сердечник.

В работающем трансформаторе на сердечник воздействует переменное магнитное поле. В результате вокруг сердечника возникают вихревые токи. Из-за них магнитопровод нагревается – то есть часть полезной энергии уходит в тепло.

На потери из-за перемагничивания влияет:

- характер материала сердечника. Чем проще намагничивается металл, тем проще его перемагнитить и тем меньше потери в трансформаторе;
- частота перемагничивания;
- максимальное значение магнитной индукции.

Чтобы снизить потери, для производства сердечников используют сталь с выраженными магнитными свойствами. Такой материал требует меньше энергии на перемагничивание.

В монолитных проводниках вихревые токи приобретают максимальные значения из-за небольшого сопротивления. Следовательно, чтобы уменьшить потери в трансформаторе, нужно увеличить сопротивление материала сердечника. Производители силовых трансформаторов нашли выход: они набирают магнитопровод из металлических листов. Стальные пластины для сердечника берутся не более 0,5 мм толщиной.

Чтобы действительно снизить сопротивление вихревым токам в сердечнике, металлические пластины нужно изолировать. Для этого производители трансформаторов используют лак и окалину. Прослойка не дает влиять вихревым токам на магнитный поток в сердечнике. Поэтому потери снижаются.

Производители собирают пластины двумя способами:

- встык – при этом собирается сам сердечник, потом на него насаживаются обмотки и только после этого все скрепляется ярмом в единую

- конструкцию;
- впереплет (шихтованные сердечники) – когда каждый следующий ряд пластин перекрывает стыки на предыдущем.

Встык магнитопровод проще монтировать, но уровень потерь в них выше, чем у шихтованных сердечников. Поэтому большим спросом пользуются шихтованные трансформаторы.

Также на потери в трансформаторах сильно влияют материалы, используемые для изготовления магнитопровода.

Листовая электротехническая сталь - основной магнитно-мягким материал массового использования. Наличие кремния повышает удельное сопротивление, что снижает потери на вихревые токи, способствует выделению углерода в виде графита, а также почти полному раскислению стали. Это дает увеличение μ , уменьшение H и снижение потерь на гистерезис. Но кремний ухудшает механические свойства железа, увеличивает его хрупкость и затрудняет прокатку в листы и штамповку. При содержании кремния до 4% сталь обладает еще достаточно хорошими механическими свойствами, но при содержании кремния выше 5% она становится очень хрупкой. Путем комбинированной горячей и холодной прокатки кремнистой стали и особой термической обработки можно изготовить текстурованную сталь крупнокристаллического строения. Магнитные свойства такой стали в направлении прокатки значительно выше, чем стали, не подвергавшейся подобной обработке.

Пермаллой - это железоникелевые сплавы, обладают весьма большой начальной магнитной проницаемостью в области слабых полей, что связано с практическим отсутствием у них анизотропии и магнитострикции. Различают высоконикелевые и низконикелевые пермаллои. Высоконикелевые пермаллои содержат 72—80% Ni, низконикелевые 40—50% Ni. Наибольшим значением максимальной магнитной проницаемости обладает сплав, содержащий 78,5% Ni. Магнитные свойства пермаллоев чувствительны к внешним механическим напряжениям, зависят от химического состава и наличия инородных примесей в сплаве, а также очень резко меняются от режимов термообработки материала. (температуры, скорости нагрева и охлаждения, состава окружающей среды и т. д.).

Альсиферы — сплавы железа с кремнием и алюминием. Оптимальный состав альсифера: 9,5% Si, 5,6% Al, остальное Fe. Такой сплав отличается твердостью и хрупкостью, но может быть изготовлен в виде фасонных отливок. Основные свойства альсифера: $\mu=35\ 500$, $\mu_{\text{макс}}=120\ 000$, $H_c=18\ \text{А/м}$, $\rho=0,8\ \text{мкОм}\cdot\text{м}$, т.е. не уступают свойствам высоконикелевых пермаллоев. Изделия из альсифера: магнитные экраны, корпуса приборов и т. д. — изготавливаются методами литья с толщиной стенок не менее 2—3 мм из-за хрупкости сплава. Из-за хрупкости альсифера его можно размалывать в порошок и использовать наряду с карбонильным железом для изготовления высокочастотных прессованных сердечников.

После анализа вышеизложенного можно сделать вывод, что уменьшение мощности потерь холостого хода (потерь в магнитопроводе), очевидно, связано с изменением конструкции и материала магнитопровода. Наиболее перспектив-

ный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов - это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. Перемагничивание ферромагнитного материала связано с расходом энергии на этот процесс. Как уже указывалось, площадь петли гистерезиса характеризует энергию, выделяемую в единице объема ферромагнетика за один цикл перемагничивания.

Литература

1. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. — 7-е изд., перераб. и доп.—Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. — 304 с.
2. Кацман, М. М. Электрические машины: учебник [для учреждений среднего профессионального образования] / М. М. Кацман. - 15-е изд., стер. - Москва: Академия, 2016. - 492 с.
3. Шевчик Н. Е. Электрические машины: учебное пособие для средних специальных учебных заведений / Н. Е. Шевчик, Г. Д. Подгайский. - Минск: Дизайн ПРО, 2000.

УДК 620.9.004.18

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ХАРАКТЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сивцов Н.А., Ратомский Е.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

В настоящее время существует очень много отраслей промышленности, которые используют высокие технологии для производства. Для этого требуется высококачественный и надежный источник питания. Такие отрасли, как производство полупроводников, компьютеров и бизнес-оборудования, очень чувствительны к незначительным изменениям напряжения.

Стоимость неправильной эксплуатации оборудования становится все более высокой с каждым годом. Недавнее исследование показало, что, например, основные промышленные потребители в Южной Африке несут ежегодные убытки в размере более 150 миллионов долларов из-за проблемы провалов напряжения.

Колебания напряжений часто возникают в системах питания ЭП. Они происходят под действием изменения значений тока, который в элементах питающей сети создает быстро изменяющиеся потери напряжения.

Основная причина колебаний - однофазные нагрузки, которые неравномерно распределены по всем трем фазам. Когда трехфазный выпрямитель подключен к несимметричной сети, возникают некоторые нежелательные эффекты. Прежде всего, выпрямитель начинает потреблять

(генерировать) токи третьей гармоники от источника питания. В звене постоянного тока дисбаланс приводит к пульсации напряжения (в два раза превышающей частоту источника питания) из-за разницы пиковых напряжений трех фаз. Это влияет на интервалы проводимости диодов и форма входного тока дополнительно искажается.

Диодный выпрямитель совершенно нечувствителен к дисбалансу напряжений, а также имеет сглаживающий эффект дисбаланса напряжений. Фаза с наименьшим напряжением также должна обеспечивать наименьший ток, так как интервал проводимости этой фазы меньше, чем для других фаз. Таким образом, нагрузка уменьшается на фазе с самым низким напряжением.

Важно понимать, что максимальный дисбаланс тока не определен в стандартах для электродвигателей в их рабочей среде из-за возможных изменений конструкции двигателя и несимметрии цепи. Изменения напряжения вычислить относительно легко. Требуется измерение междуфазного напряжения питания электродвигателя [2].

При исследовании ошибочно используют дисбаланс тока для определения состояния электрической машины, такие значения могут использоваться только для начала исследования. Еще одним показателем может быть электрическое "жужжание" или электрический "рычащий шум", указывающий на возможное однофазное состояние.

Однофазное состояние подразумевает полную потерю одной фазы. Мало нагруженный двигатель может работать в течение длительного периода времени,

так как фазы не потребляют достаточный ток для отключения стандартной перегрузки. Электронные перегрузки сейчас более распространены и могут использоваться для обнаружения несимметрии напряжения и однофазных состояний.

Помимо проблем с электроснабжением, таких как потеря одной фазы, есть и другие условия: поврежденные проводники и ослабленные (открытые) соединения; износ контактов стартера или отсутствуют перегрузки; неправильные отводы трансформатора; слишком много однофазных нагрузок на одной фазе трансформатора; проблемы конденсатора коррекции коэффициента мощности и с сопротивлением цепи.

Вопрос качества электроэнергии в настоящее время обостряется из-за увеличения мощности нелинейных, несимметричных и скачкообразных нагрузок.

Колебания напряжения - это быстрые изменения величины напряжения, в основном из-за нагрузок дуговых печей, сварочных установок, частых или циклических работ двигателя, включающих изменения скорости и т. д. Несимметрия напряжения - это неравенство величин напряжения и углов напряжения между тремя фазами в любой заданной точке времени, в основном из-за неравномерного распределения однофазных нагрузок, асимметрии обмоток трансформатора и линии и, изменяющейся во времени работы однофазных, тяговых нагрузок, перегоревших предохранителей на батареях трехфазных конденсаторов, работы приводов с регулируемой скоростью и т. д. Самая важная причина несимметрии напряжения: не соответствие спроса на реактивную мощность промышленных предприятий и генерирующих станций. Из-за различного времени работы однофазных и трехфазных нагрузок существует определенная возможность колебаний напряжения выше и ниже номинального значения, как в сбалансированной, так и в несбалансированной форме.

Когда колебания напряжения питания, пусковой и рабочий ток очень поразному реагируют на эти изменения. Падение сетевого напряжения приведет к более низкому пусковому току и более высокому рабочему току. Повышение линейного напряжения до 5% увеличит пусковой ток и немного снизит рабочий ток. Если сетевое напряжение увеличивается более чем на 5%, пусковой и рабочий ток будут выше. Как правило, 1% дисбаланс напряжения может создать 7% дисбаланс по току, а двигатель с 5% дисбалансом напряжения будет иметь пониженную мощность на 25%, в результате чего его запуск может быть невозможен.

Двигатели переменного тока должны успешно работать в рабочих условиях при номинальной нагрузке и при изменении напряжения или частоты до следующих пределов: плюс или минус 10% номинального напряжения, с номинальной частотой для асинхронных двигателей. Плюс или минус 5% номинальной частоты при номинальном напряжении [2].

Комбинированное изменение напряжения и частоты на 10% (сумма абсолютных значений) номинальных значений при условии, что изменение частоты не превышает плюс или минус 5% от номинальной частоты.

Производительность в пределах этих колебаний напряжения и частоты не обязательно будет соответствие нормам, установленным для работы при номинальном напряжении и частоте. Они могут значительно сократить срок службы двигателя.

Ухудшение качества электроэнергии может привести к ряду отрицательных последствий или ущербу для отдельных видов электроприемников или потребителей в целом. Электротехнический ущерб вызван увеличением потерь электроэнергии, сокращением срока службы электрооборудования и приборов, внезапными отказами тех или иных технических средств. Технологический ущерб вызван недоотпуском и браком продукции, сбоями и отказами в работе электрооборудования, которые приводят к нарушению технологии производства.

Положительное отклонение напряжения является причиной уменьшения срока службы оборудования, однако следует отметить, что производительность механизмов с асинхронным приводом увеличивается. Отрицательные отклонения напряжения сказываются на снижении производительности, увеличении потерь напряжения и снижении потерь мощности.

Асинхронные двигатели (АД) иногда работают на напряжении, которое отличается от того, на которое рассчитаны двигатели. В таких условиях производительность двигателя естественно будет меньше.

Потери в сердечнике зависят от приложенного напряжения. Потребляемая мощность на холостом ходу предназначена только для учета потерь холостого хода в виде потерь в меди статора, потерь в сердечнике, сопротивления воздуха и трения [2].

В двигателе с нормальной характеристикой при полной нагрузке увеличение напряжения на 10% по сравнению с указанным на паспортной табличке обычно приводит к значительному снижению коэффициента мощности. Снижение напряжения на 10% от номинального значения обычно приводит к увеличению коэффициента мощности.

При увеличении или уменьшении напряжения на 10% по сравнению с паспортными данными, приводит к увеличению нагрева, что может привести к разрушению системы изоляции.

Увеличение напряжения на 10% приведет к уменьшению коэффициента скольжения примерно на 17%, а уменьшение на 10% увеличит коэффициент скольжения примерно на 21% [1].

Повышение напряжения приводит к увеличению потребляемой реактивной мощности и соответствующим потерям в распределительной сети. В среднем при повышении напряжения на 1% потребляемая реактивная мощность возрастает на 3% для АД мощностью 20-100 кВт и на 5-7% для АД меньшей мощности.

Газоразрядные источники света менее чувствительны к изменению напряжения. При уменьшении напряжения до 7% освещенность рабочего места снижается на 10-15%. При уменьшении напряжения до 20% и ниже зажигание газоразрядных ламп становится невозможным. Всё это оказывает непосредственное влияние на утомляемость человека [1].

Снижение напряжения наносит ущерб и электротермическим установкам, так как увеличивается длительность технологического процесса. В результате себестоимость производства также увеличивается.

Удельный расход электроэнергии дуговых сталеплавильных печей, их производительность и время плавления также существенно зависят от отклонения

напряжения. При повышенном напряжении экономия электроэнергии при работе может составить до 30%. Что касается синхронной машины, то падение напряжения, вызванное пусковым током, одинаково в трех фазах, вызывая сбалансированное падение напряжения. Напряжение внезапно падает и постепенно восстанавливается, когда машина достигает своей номинальной скорости.

Количество нагрузок, подверженных провалам напряжения, зависит от полного сопротивления источника. Из-за мгновенного провала напряжения возникают высокие пики крутящего момента, которые могут вывести машину из строя или повредить вал машины или оборудование, подключенное к валу. Чтобы предотвратить эти условия, аппараты защиты отключают машину от источника питания.

Электрические печи чувствительны к отклонениям напряжения. Понижение напряжения электродуговых печей, например, на 9 % приводит к удлинению процесса плавки стали в 1,6 раза. Повышение напряжения выше 4% приводит к перерасходу электроэнергии [1].

Отклонения напряжения отрицательно влияют на работу электросварочных машин: например, для машин точечной сварки при изменении напряжения на 20% получается брак продукции. При уменьшении напряжения на 5% время сварки увеличивается на 10%. Напряжение дуги оказывает большое влияние на форму сварного шва и глубину проплавления [1].

Таким образом, изменение напряжения оказывает негативное влияние на работу электроприемников на предприятиях. Из-за его колебаний страдает качество продукции, появляется перерасход электроэнергии, снижается срок службы агрегатов и разрушается их изоляция. Это также негативно сказывается на освещенности рабочих мест, в результате чего снижается производительность труда.

Литература

1. Карташев И.И., Управление качеством электроэнергии: учебное пособие для вузов / И.И. Картышев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов ; под общ.ред. Ю.В. Шарова. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.
2. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников и аппаратов [Электронный ресурс] : качество электрической энергии и его обеспечение. URL: <https://leg.co.ua/knigi/ucheba/elektricheskie-seti-i-sistemy-15.html> (дата доступа 27.10.2020)

УДК 621.3

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ- МЕГАКОНСТРУКЦИИ. “ЗА” И “ПРОТИВ”.

Беспалова В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Самая большая в мире ветроэлектрическая установка Siemens SWT-7.0-154 (рис.1.), площадь ометания $18\,600\text{ м}^2$, способна генерировать максимальную мощность 7 МВт при скорости ветра 13-15 м/с. КПД нескольких сотен таких ветряков прямо пропорционально КПД одной атомной электростанции.

SWT-7.0-154 — это флагманская модель компании Siemens. В её названии указаны генерируемая мощность (7 МВт) и диаметр ротора с лопастями (154 м). Она пришла на смену предыдущей модели SWT-6.0-154, от которого практически не отличается по техническим спецификациям, но оснащена более мощными магнитами, что позволяет генерировать больше электроэнергии при том же диаметре. Параметр снимаемой мощности с квадратного метра площади ометания выше примерно на 16,7%.



Рисунок 1 – Ветрогенератор Siemens SWT-7.0-154

Ветрогенератор включается в работу на минимальной скорости ветра 3-5 м/с. Генерируемая мощность поступательно растёт до максимальной 7 МВт при скорости ветра 13-15 м/с. Лопасти ВЭУ вращаются неторопливо, делая 5-11 оборотов в минуту. То есть полный оборот три лопасти совершают примерно за 5-12 секунд, в зависимости от скорости ветра. При достижении скорости ветра 25 м/с генерация прекращается.

Турбину новой модели труднее раскрутить. Для достижения той же скорости вращения 5-11 оборотов в минуту и максимальной генерируемой мощности (7 МВт вместо 6 МВт) этой турбине требуется повышенная скорость ветра: 13-15 м/с вместо 12-14 м/с. Начальная скорость ветрогенерации у неё выше, поэтому данная модель-гигант наиболее оптимально подходит для размещения на территориях с относительно сильными ветрами, лучше всего в море.

Внутри турбины отсутствует редуктор, здесь использована система прямого привода, подключенная к синхронному генератору с постоянными магнитами. Требуемые параметры вырабатываемой электроэнергии получают с использованием преобразователя частоты со звеном постоянного тока.

В области ветряной энергетики происходит очень быстрый научно-технический прогресс. Буквально каждый год появляются новые модели ВЭУ большей мощности и эффективности.

Стоимость ветрогенераторов-гигантов достаточно высока. Цена ветряка на 7 МВт составляет \$14 млн вместе с установкой, если заказывать все работы у сертифицированных немецких специалистов. По стоимости несколько сотен ветряков Siemens сравнятся с атомной электростанцией.

Как известно, скорость ветра сильно зависит от высоты, для ветровой турбины большой мощности высота мачты составляет 100-150 м, где ветры гораздо сильнее. По этой причине наиболее оптимально такие гиганты устанавливать в море, в нескольких километрах от побережья, на большой высоте. Например, если установить такие установки вдоль северного побережья России с шагом 200 метров, то максимальная мощность массива составит 690,3 ГВт (побережье Северного Ледовитого океана составляет 19724,1 км).

По стабильности работы ВЭУ уступают АЭС или ГЭС. Необходимо постоянно следить за прогнозом погоды, потому что генерируемая мощность напрямую зависит от скорости ветра.



Рисунок 2 – Ветрогенераторы-гиганты

Плюсы и минусы ветровой энергетики

Стоимость современной ветряной электростанции высокая. Экологические и экономические выгоды зависят от правильного расположения, для чего необходимо детальное и всестороннее рассмотрение технических, экологических, а также финансовых сторон. Ветряная энергетика является экологически чистым методом производства энергии. Ее основными преимуществами являются:

1. Отсутствие загрязнения окружающей среды – нет выбросов вредных веществ в атмосферу или образованию отходов.
2. Использование возобновляемого, неисчерпаемого источника энергии, экономия на топливе, на процессе его добычи и транспортировки.
3. Для сельскохозяйственных целей может быть использована территория в непосредственной близости от ВЭУ
4. Стабильные расходы на единицу полученной энергии, а также рост экономической конкурентоспособности по сравнению с традиционными источниками энергии.
5. Минимальные потери при передаче энергии – ветряная электростанция может быть построена непосредственно у потребителя, и в удаленных местах. Простое обслуживание, быстрая установка, низкие затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию.

Несмотря на огромные преимущества, ветряки также имеют серьезные недостатки:

1. Высокие инвестиционные затраты - они имеют тенденцию к снижению в связи с новыми разработками и технологиями. Также стоимость энергии из ветра постоянно снижается.
2. Изменчивость мощности во времени - производство электроэнергии зависит, от силы ветра, на которую человек не может повлиять.

3. Шум – исследования шума, выполненные с использованием новейшего диагностического оборудования, не подтверждают негативного влияния ветряных турбин. Даже на расстоянии 30-40 м от работающей станции, шум достигает уровня шума фона, то есть уровня среды обитания.

4. Угроза для птиц - в соответствии с последними исследованиями, вероятность столкновения лопастей ветряка с птицами не больше, чем в случае столкновения птицы с высоковольтными линиями традиционной энергетики.

5. Возможность искажения приема сигнала телевидения - незначительна.

6. Изменения в ландшафте.

7. Торможение движущихся воздушных масс.

Литература

1. <https://habr.com/ru/post/373021>
2. <https://rawi.ru/2019/05/desyatka-novyih-gigantov>
3. <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusy-minusy-vetroenergetiki.html>

УДК 621.3

ПОДСТАНЦИЯ «МОГИЛЕВ-330»

Самутичева Е.Д.

Научный руководитель – ассистент Смоловская Д.М.

Электрическая подстанция — электроустановка, которая предназначена для приема, преобразования, распределения и передачи электрической энергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств.

Подстанция «Могилев-330» является не только ключевой подстанцией Могилевского энергоузла, но и одной из базовых подстанций в Белорусской энергосистеме, которая находится в центре нагрузок и обеспечивает перетоки электроэнергии с Лукомльской ГРЭС на Жлобинский и Гомельский энергоузлы.

Подстанция играет важную роль в электроснабжении крупных потребителей, таких как: РУП «Белорусский металлургический завод», филиал ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «Могилевхимволокно», ОАО «Моготекс», филиал РУП «МАЗ», ОАО «Строммашина», ОАО «Могилёвлифтмаш», свободной экономической зоны «Могилев» и других.

От момента появления первой электрической энергии в городе Могилеве до ввода вновь смонтированного трансформатора АТ-1 мощностью 200 мВА на цифровой подстанции «Могилев 330» прошло около 110 лет. За это время сменилось не только несколько поколений энергетиков, обслуживающих оборудование энергосистемы, но также поменялся подход к строительству подстанций и станций, учитывая новые технологии.

По результату в эксплуатацию введена основная часть уникальной для Белорусской энергосистемы подстанция классом напряжения 330/110/10 кВ.

При реконструкции подстанции были применены новейшие цифровые технологии, которые повысили надежность электроснабжения, а также позволили оптимизировать эксплуатационные расходы. Устройства релейной защиты и управления, противоаварийной автоматики фирмы АВВ, система АСУ ТП (MicroSCADA) работают по технологии на базе стандарта IEC 61850 с использованием передовых способов сбора и передачи информации, с применением устройств полевого уровня, цифровых трансформаторов тока, напряжения, а также оптических кабельных связей между устройствами.

Уникальные цифровые решения, применяемые на данной подстанции, позволят увеличить надежность, значительно сократить использование медных кабельных связей, сэкономить площадь подстанции и снизить эксплуатационные и трудовые затраты.

На ПС «Могилев 330» впервые в Беларуси введены в работу оптоволоконные трансформаторы FOCS-FS (ABB), работающие на эффекте Фарадея.

Данное уникальное оборудование установлено на ОРУ 330кВ и ОРУ 110кВ и служит для передачи информации о измеренном токе по протоколу IEC 61850-9-2 (Sampled Values) с частотой дискретизации 80 точек/период для микропроцессорных устройств релейной защиты, учета и измерений.

АСУ ТП на подстанции построено по технологии «шина станции (от англ. «Station bus»), которая объединяет микропроцессорные устройства всей подстанции и обеспечивает взаимодействие устройств защиты и управления внутри присоединения, различных присоединений между собой, а также микропроцессорных устройств с помощью шлюзов с вышестоящими уровнями управления электрической сети, позволяя специалистам РУП «Могилевэнерго» осуществлять мониторинг, управление и обслуживание оборудования.

На ПС «Могилев-330» впервые на объекте Белорусской энергосистемы применены выключатели-разъединители ДСВ 110-330 кВ, сочетающие в себе функции и выключателя, и разъединителя, благодаря чему существенно упрощается процесс вывода в ремонт оборудования.

При этом значительно сократилась площадь ОРУ 330 кВ (в 2,5-3 раза, а площадь РУ 110 кВ – в два раза.)

Реализация второго пускового комплекса завершит полную реконструкцию подстанции в 2021 году.

Опыт строительства, наладки и эксплуатации данной подстанции, несомненно станет толчком для успешной реализации подобных технических решений не только в Беларуси, но и в других странах мира.

Литература

1. РУП Могилёвэнерго — [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mogilev.energo.by/news/2326/> (Дата доступа: 06.10.2020).
2. О реконструкции подстанции «Могилев-330» — [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belenergo.by/content/infocenter/news/o-rekonstruktsii-podstantsii-mogilev-330__11250/ (Дата доступа: 11.10.2020).

УДК 621.3

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Подлипалин О.Я.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Техническая система – это искусственно созданные объекты, предназначенные для удовлетворения определенной потребности, которым присущи возможность выполнения не менее одной формы, многоэлементность, иерархичность строения, множественность связей между элементами, многократность изменения состояний и многообразие потребительских качеств. К техническим системам относятся отдельные машины, аппараты, приборы, сооружения, их элементы в виде узлов, блоков, агрегатов и др. .

В современных условиях технического прогресса для любой технической системы важно соответствовать постоянно меняющимся внешним требованиям, предъявляемым со стороны других сложных систем или со стороны внутреннего процесса самой системы. Особое значение придается оперативной оценке и анализу возникающих в результате какого-либо несоответствия проблем, где проблема – это несоответствие между фактическим и желаемым состоянием объекта управления, и оперативному поиску путей решения для них. С учетом повышенного внимания в последние годы к таким показателям, как экологичность, эргономика и внешняя эстетика технических устройств ряд технологических процессов и систем, обслуживающих эти процессы, все чаще и чаще подпадают под категорию «проблемных», то есть имеющих в своей структуре некие несоответствия критериям оценки.

В отношении упомянутых технических систем наиболее действенным способом минимизации таких несоответствий до недавнего времени являлся процесс замены отдельных элементов рассматриваемой системы, с целью расширения ее возможностей, снижению затрат на ее эксплуатацию или удовлетворению иных критичных параметров оценки. Такое повышение основных показателей всех видов техники называется модернизацией.

Характерной чертой современного этапа развития цивилизации является стремительный прогресс в области создания и использования новых технологий, а одним из приоритетных направлений в развитии современных технических систем является внедрение информационных технологий в производственный процесс. Широкое применение этих технологий позволяет перевести экономику в разряд инновационной, эффективность которой позволяет добиться серьезных экономических успехов даже в случаях дефицита сырьевых или иных ресурсов.

Так одним из важнейших стратегических и управленческих ресурсов в современном мире стала информация, а ее производство и потребление является базисом для эффективного функционирования и дальнейшего развития любой отрасли экономики. Согласно теории Шеннона, информация – это снятая неопределенность, то есть, сведения, которые должны снять в той или иной степени существующую у потребителя до их получения неопределенность, расширить его понимание объекта полезными сведениями. В более узком смысле информация представляет собой набор некоторых данных, либо же интерпретацию их в

качестве понятного кода или прообраза. Именно на основе производства, передачи, восприятия и обработки неких наборов данных строятся все современные системы автоматического управления производственными процессами.

Требования информационного общества к существующим технологическим системам приводят к неизбежной модернизации технологических процессов и систем на базе которых они построены. Направление модернизации, как правило, задается в сторону перевода при помощи вычислительной техники части физических процессов на уровень логических преобразований при помощи неких программных алгоритмов. Таким способом происходит ускорение ряда производственных операций, уменьшаются затраты на производство продукции и на поддержание технического состояния исполнительных элементов, а также повышается автоматизация технологического процесса в целом.

Для обеспечения возможности выполнения ряда операций на логическом уровне изначально требуется создание точной информационной копии (модели) объекта. Информационная модель – это отражение информационного поля, показывающее взаимосвязь взаимодействия объектов реального мира с внешним пространством и между собой, или другими словами, это информация, формализованная специальным образом. Главное отличие информационной модели от самой информации заключается в том, что для модели известны строгие правила построения и применения, а первичная информация может иметь любые формы и любые правила группирования.

Все связи в информационной модели являются причинно-следственными, что дает возможность беспрепятственно изменять одни параметры путем преобразования других. Информационные модели позволяют получать знания тремя различными способами:

- когнитивный способ. Применим для обозримых и воспринимаемых человеком информационных моделей. Здесь знание формируется с помощью рассуждений и логических построений;
- информационно-технологический способ. Его используют в случае сложности и большого объема первоначальных данных, что делает их невозможными для восприятия и анализа человеком. При помощи информационных технологий эти данные преобразуют и упрощают, применяя вторичные информационные модели, приемлемые для человеческого восприятия. Такой подход также является алгоритмическим, поскольку информация обрабатывается по алгоритмам, разработанным человеком.
- интеллектуальный способ. Когда первичная информация велика по объему и сложна настолько, что не может быть обработана с использованием информационных технологий и систем, то первый и второй являются неприемлемыми. В этом случае проблема решается применением методов искусственного интеллекта.

Современные производственные технические системы отличаются наличием большого количества регистрирующих и измерительных органов, которые при составлении информационной модели обеспечивают сбор первичной информации. Собранная информация передается на серверы, обладающие большими

вычислительными мощностями, где в дальнейшем по определенным алгоритмам составляются информационные модели, использование которых позволяет переводить ряд физических технологических операций в разряд логических, путем программной обработки этих моделей.

Для технологических информационных моделей эталонным является значение, заданное оператором, и обусловленное нуждами производственного процесса. При некотором несоответствии модели реальной системы ее идеализированной модели компьютерными системами выполняется ряд алгоритмов, конечной целью которых является определение первичных несоответствий, определение объектов технической системы, ответственных за данные несоответствия, и выдача исполнительным органам команд корректирующего характера. Таким образом, обеспечивается работа технической системы в заданном режиме, обеспечивающем максимально эффективное использование ресурсов производства.

С учетом вышесказанного видно, что модернизация в современных условиях помимо процесса реновации технологического оборудования должна подразумевать повсеместное внедрение новых интеллектуальных комплексов, способных выполнять функции получения, хранения, поиска, распространением и обработки информации. Таким образом, при оценке пригодности определенного вида технологического оборудования, предпочтение должно отдаваться интеллектуальным устройствам, способным обеспечить выполнение вышеперечисленных функций.

УДК 621.311.238

ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Мангул Д.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

Ранее в СССР, а затем в странах СНГ газотурбинные (ГТУ) и парогазовые (ПГУ) установки использовались в ограниченном количестве, несмотря на очевидность и целесообразность их широкого внедрения. Паротурбинные тепловые электростанции (ТЭС) исчерпали свои возможности повышения эффективности использования топлива и капитальных вложений.

Газотурбинные установки являются двигателями внутреннего сгорания. В газотурбинных установках, как правило, используется базовая часть от авиационных прототипов, примерно 70...75 % основных узлов и деталей базового авиационного двигателя удалось сохранить. Авиационные ГТУ используют в качестве топлива керосин, наземные ГТУ довольно часто питаются газом. Газотурбинные электростанции (ГТЭС) на базе таких конвертированных авиационных ГТУ обладают целой совокупностью достоинств, среди них экономичность, низкая стоимость, быстрые сроки окупаемости, малая удельная масса и габариты, высокие мобильность и приемистость, короткие сроки строительства, детально отработанная технология производства, широкий диапазон климатических условий эксплуатации, практически полная автоматизация управления работой двигателя, высокий КПД использования топлива, особенно при когенерации, возможность работы на керосине, дизельном топливе, природном и попутном газе, минимальные объемы вредных выбросов в окружающую среду и др. [1, 2].

Газовые турбины широко используются в энергетике относительно недавно [3]. Эффективными оказались комбинированные парогазовые установки, упрощённая схема которой изображена на рисунке 1, в них газовая турбина – первая высокотемпературная ступень использования тепла. Ее выхлопные газы идут в котел, пар из которого поступает на паровую турбину [1, 3].

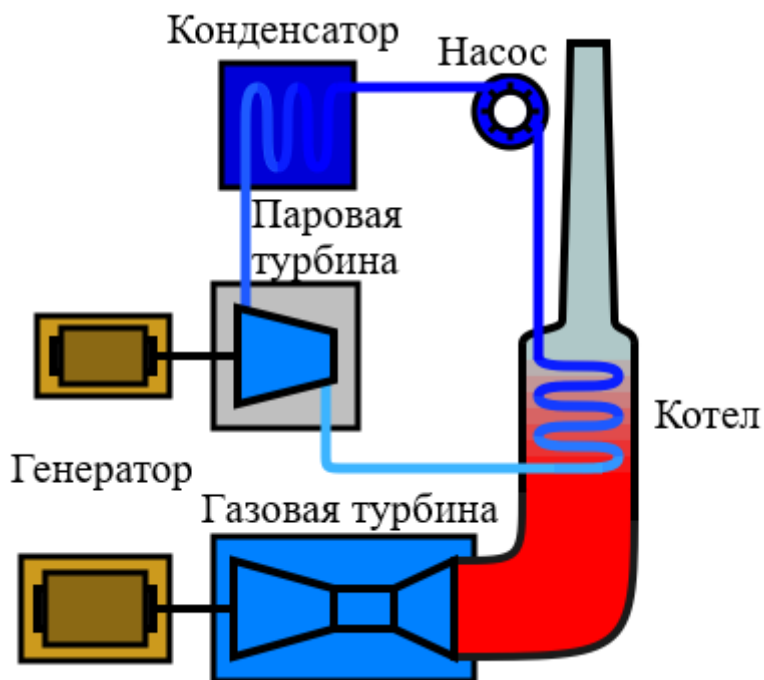


Рисунок 1. Упрощённая схема парогазовой установки

Основой модернизации тепловых электростанций могут стать газовые турбины за счет внедрения в старые паровые электростанции новых газотурбинных установок.

Газовые турбины могут быть высокоэффективными и без применения цикла ПГУ [3]. К примеру [4], если на выходе газовой турбины в теплообменнике выходящими газами греть воду и паром охлаждать горячий тракт турбины вместо воздуха (который очень дорого стоит в обычном цикле), то при температуре газа $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, достижение которой ставится сейчас как задача, можно говорить об уровне КПД реального газотурбинного цикла порядка 60-62 %. А это в полтора раза лучше, чем в предельном паротурбинном цикле.

ГТУ малой и средней мощности (от 2,5 до 25 МВт) применяются в теплофикации. Использование парогазового оборудования на ТЭЦ обеспечивает:

- показатели удельной выработки электроэнергии для ТЭЦ с установленными на них ГТУ выше в 1,5 раза в сравнении с паротурбинными станциями на тепловом потреблении;
- уменьшение затрат природного газа (до 25-30 %) по сравнению с паросиловой установкой (ПСУ);
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу (2,5-3 раза);
- уменьшение объема строительных и монтажных работ в сравнении с ПСУ (до 20-30 %);
- унификацию и типизацию при проектировании и строительстве источников тепло- и электроснабжения.

Объектами внедрения ГТУ могут быть малые и средние промышленные и коммунальные котельные.

ГТУ малой и средней мощности найдут применение при реконструкции и модернизации систем энергоснабжения промышленных предприятий области,

систем теплоснабжения ЖКХ. Газотурбинные установки большой мощности (до 100 МВт и более) целесообразно использовать в системах централизованного тепло и электроснабжения крупных городов.

Эффективное направление применения ГТУ в теплофикации - их совместная работа с водогрейными котлами, паровыми котлами низкого давления. Создание ГТУ ТЭЦ на базе отопительных котельных представляется наиболее дешевым, эффективным и простым техническим решением для снижения затрат топлива на производство электроэнергии.

Реализация таких решений дает возможность бесперебойного снабжения собственных нужд котельных; экономию различного вида топлива, сжигаемого в котельных; надежность теплоснабжения жилых районов и промышленных предприятий; – улучшение экологических показателей энергоисточников, при чем сохраняется связь котельной с энергосистемой, Это обеспечивает надежное покрытие собственных нужд при остановке ГТУ.

Неравномерность тепловой нагрузки в течение года в каждом конкретном случае требует оптимизации соотношения установленной электрической мощности и тепловой мощности котельной. Задача состоит в обеспечении максимальной выработки электроэнергии при минимальной установленной мощности ГТУ. При сбалансированной схеме включения ГТУ и отопительного котла, при которой весь расход выхлопных газов ГТУ направляется в горелки котла, оснащение всех котлов газотурбинными установками нерентабельно, в зависимости от неравномерности отопительной нагрузки ГТУ должно оснащаться 50-70 % котлов. При отключении ГТУ сохраняется возможность автономной работы котла на воздухе от дутьевых вентиляторов.

Главной проблемой является определение места подключения генераторов ГТЭС в существующую схему электроснабжения предприятия с наименьшими затратами на ее реконструкцию. В цепях питания от распределительных устройств 6(10) кВ ГТЭС устанавливаются токоограничивающие реакторы для сохранения установленного коммутационного оборудования в существующей схеме предприятия.

Газотурбинные электростанции обладают следующими преимуществами:

- высокая надежность, показатель наработки до капитального ремонта составляет 25-35 тыс. ч, ресурс основных узлов - до 100 тыс. ч;
- КПД до 88 % достигается не только за счет высокого КПД установки (до 36,4 %), но и за счет утилизации тепла уходящих газов;
- экономичность установок, короткий срок окупаемости (1-3,5 года) при небольшом сроке строительства;
- коэффициент технической готовности достигает 0,99;
- автоматическая система управления и широкая диагностика технического состояния, простота в управлении, минимальная численность обслуживающего персонала;
- высокие экологические показатели: СО не более 300 мг/м³ и уровень шума не более 80 дБ.

Часто достаточной бывает реконструкция или модернизация уже существующих станций с применением новейших технологий.

Время запуска установок ГТУ довольно короткое, тем самым можно довольно быстро реагировать на рост пиковых мощностей. При надстройке котельной с помощью ГТУ появляется возможность получать дополнительную электрическую энергию в пределах города, тем самым разгружая другие электростанции.

Основная проблема ГТУ - чрезвычайно низкий электрический КПД, особенно при малых мощностях. Следует учитывать и тот факт, что в большинстве ГТУ при уменьшении нагрузки до 50 % электрический КПД газовой турбины значительно снижается, также происходит повышенный износ оборудования. Поэтому при планировании внедрения ГТУ должен учитываться график ее 100 %-ной загрузки.

Использование ГТУ экономически оправданно при подборе установки под покрытие тепловой нагрузки на горячее водоснабжение. Тем самым обеспечивается 100 %-ная загрузка ГТУ, а котельные, работающие в отопительный сезон, в летнее время отключаются.

Литература

1. Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки. -М.: Энергоатомиздат, 1985. – 303 с.
2. Интеллектуализация испытаний конвертированных газотурбинных установок для электроэнергетики / Б.В. Кавалеров, В.П. Казанцев, И.А. Шмидт, А.Н. Рязанов, К.А. Один // Системы управления и информационные технологии. - 2012. - №1(47). - С. 84-88.
3. Оценка технико-экономической эффективности модернизации ГТУ-ТЭС с использованием парогазовой технологии / А. Виноградов, В. Григорьев, В. Макаревич [и др.]. - URL: <http://www.bankreferatov.ru/referats/C325729F00717F7B43257B0B0009DBF4/Парогазовые%20уста новки.ёос.Мш1> (дата обращения: 21.10.2020).
4. Газотурбинные установки с утилизацией тепловой энергии // Энергосовет. - 2009. - № 4(4). - URL: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=25 (дата обращения: 17.10.2020).

УДК 621.3

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Кащеев Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С. В.

Энергосбережение – это комплекс мер по реализации организационных, правовых, технических, экономических и иных мер, направленных на эффективное (рациональное) использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Повышение конкурентоспособности экономики, обеспечение энергетической безопасности и энергетической независимости за счет повышения энергоэффективности и увеличения использования ТЭР, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), является приоритетом развития страны. Для активизации работ по данному направлению была утверждена Государственной программой "Энергосбережение" на 2016 - 2020 годы (далее - Государственная программа), утвержденная Постановлением Совета министров Республики Беларусь 28 марта 2016 г. N 248 (в ред. постановлений Совмина от 30.12.2016 N 1128, от 26.12.2017 N 1002, от 29.12.2018 N 986, от 03.05.2019 N 276, от 31.12.2019 N 972).

Приоритетными направлениями энергосбережения являются:

1. Передача тепловых нагрузок на ТЭЦ от ведомственных котельных всех форм собственности.
2. Увеличение использования вторичных энергоресурсов и горючих отходов производства.
3. Увеличение использования МВТ и НВИЭ:
 - ликвидация электрокотельных и электроводонагревателей с заменой на котлоагрегаты на МВТ;
 - замещение импортируемого топлива (мазута, угля, печного бытового топлива) МВТ;
 - внедрение котельного и теплогенерирующего оборудования на МВТ;
4. Ввод в эксплуатацию электрогенерирующего оборудования на основе паро- и газотурбинных, парогазовых, турбодетандерных и газопоршневых установок (ускорение ввода планового и ввод дополнительного оборудования).
5. Внедрение систем частотного регулирования электроприводов с переменной нагрузкой.
6. Оптимизация режимов работы установленного электрогенерирующего оборудования.
7. Использование инфракрасных газовых излучателей для отопления и обогрева.
8. Внедрение современных энергоэффективных технологий в основном производстве.
9. Внедрение энергоэффективных технических решений в сельском хозяйстве (системы микроклимата, глубокая подстилка и др.).
10. Замена насосного оборудования.
11. Внедрение системы мер по рациональному использованию холодной

воды (снижение расхода и подпитки, управление давлением).

12. Децентрализация компрессорных станций и станций подготовки холода, замена аммиачных холодильных установок на фреоновые.

13. Реализация крупных инвестиционных энергосберегающих проектов и др.

Достижение поставленных целей должно базироваться на реализации комплекса мероприятий, включающих:

- централизованное управление всеми стадиями процесса производства, транспортировки и потребления энергоносителей;
- сбалансированную модернизацию и развитие генерирующих источников, электрических и тепловых сетей;
- организационно-экономический механизм, стимулирующий максимальное внедрение энергоэффективных технологий и оборудования;
- снижение затрат на производство (добычу, заготовку), транспортировку и потребление всех видов топлива, тепловой и электрической энергии;
- максимальное вовлечение в топливный баланс местных видов топлива, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.
- Современное энергосбережение предприятий базируется на трех основных принципах:
- не столько жесткая экономия электроэнергии, сколько ее рациональное использование, включая поиск и разработку новых источников энергосбережения;
- повсеместное использование как бытовых, так и промышленных приборов учета и регулирования расхода электрической и тепловой энергии;
- внедрение новейших технологий, способствующих сокращению энергоемкости производства.

Исходя из этого, в энергосбережении выделяют следующие группы мероприятий, обеспечивающие эффективное энергоиспользование и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов: научно-технические; организационно-экономические; нормативно-технические; информационные; правовые.

Научно-технические мероприятия по энергосбережению направлены на разработку и использование в производстве новых способов и устройств, отличающихся высокой энергоэффективностью.

Организационные мероприятия по энергосбережению подразделяются на организационно-массовые и организационно-технические.

Одним из условий обеспечения бережного и рационального использования топлива и энергии, сокращения их потерь в производстве является осуществление на предприятиях организационно-массовой работы, направленной на экономию топливно-энергетических ресурсов. Формы и методы этой работы разнообразны и на каждом конкретном предприятии имеют свои особенности.

Программы организационно-технических мероприятий (ОТМ) по экономии топлива, тепловой и электрической энергии разрабатываются на всех уровнях

управления и группируются по основным направлениям экономии применительно к производству продукции: совершенствование технологии производства; улучшение использования и структуры производственного оборудования; улучшение использования топлива и энергии в производстве; повышение качества сырья и применение менее энергоёмких его видов; прочие мероприятия.

К нормативно-техническим мероприятиям по энергосбережению относят действия по созданию соответствующих стандартов и других нормативно-технических и руководящих документов по обеспечению эффективного энергоиспользования и рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Информационные мероприятия по энергосбережению включают в себя проведение информационно-технических семинаров, выставок, конференций, симпозиумов по данной тематике, а также информирование населения через средства массовой информации (печать, телевидение, радио) об основных действиях по рациональному использованию энергии как на производстве, так и в быту.

Процессы, связанные с энергосбережением и сокращением издержек на приобретение и использование энергии и энергоресурсов, можно условно разделить на 2 группы: организационные инструменты и технические инструменты по повышению энергоэффективности.

Основные организационные инструменты:

- Внутренний финансовый аудит и определение доли энергозатрат в структуре себестоимости;
- Энергетическое обследование предприятия;
- Составление энергетического паспорта предприятия и его отдельных объектов;
- Разработка мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности применительно к технологическим условиям деятельности предприятия;
- Разработка положения о материальном стимулировании получения эффекта от проведения мероприятий повышения энергоэффективности и снижения издержек на приобретение энергоресурсов;
- Аудит договоров энергоснабжения предприятия и их оптимизация;
- Планирование и организация коммерческого учёта потребления энергии и энергоресурсов;
- Планирование и организация технологического учёта потребления энергии и энергоресурсов;
- Реализация незатратных организационных мероприятий по энергосбережению;
- Обучение персонала правилам энергосбережения и рационального использования энергоресурсов;
- Информационное обеспечение энергосбережения (регламент совещаний, распространения организационной и технической информации)
- Реализация малозатратной части мероприятий энергосбережения;
- Бизнес-планирование мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше 1

- года;
- Реализация мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше одного года;
 - Мониторинг исполнения внутренних регламентов энергопользования;
 - Мониторинг исполнения договоров на поставку энергетических ресурсов;
 - Мониторинг технического состояния приборов учёта потребления энергии и энергоресурсов и системы коммерческих расчетов;
 - Мониторинг исполнения мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;
 - Организация финансового и бухгалтерского учёта при реализации мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;
 - Материальное и моральное стимулирование участников энергосберегающих мероприятий.

Инструменты энергосбережения в системах потребления электрической энергии

Поддержание оптимального значения косинуса ϕ ($\cos \phi$).

Оптимальная загрузка трансформаторов.

Проверка соединений электрических цепей. Плохое электрическое соединение является источником повышенного переходного сопротивления – электрических потерь, а также причиной быстрого выхода из строя электрических контактов и может вызывать возгорание.

Обеспечение бесперебойности для чувствительного производства. На предприятиях, в которых прерывание технологических процессов может нести многомиллионные потери, рекомендуется обеспечить электроснабжение предприятия как потребителя особой категории.

Оптимальная загрузка существующего оборудования. Недогруз электродвигателей на 10% не дает снижение электропотребления на такую же долю. Поэтому, электросиловые установки, должны загружаться согласно паспортных данных

Оптимальный подбор электропотребляющего оборудования с оправданным запасом мощности. Оборудование должно подбираться так, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимые технологические параметры в любой период работы, с другой стороны, быть максимально экономичными..

Использование частотно-регулируемых приводов.

Контроль качества электроэнергии.

Инструменты энергосбережения в системах потребления тепловой энергии

Тепловая энергия, наравне с электроэнергией, занимает ведущую роль в общем объеме энергопотребления промышленных предприятий. Кроме чистых теплопередающих поверхностей, технологическое оборудование, потребляющее тепловую энергию, должно иметь:

- хорошую теплоизоляцию,
- оптимальную материалоемкость,

- правильно рассчитанные величины технологических потоков, участвующих в теплообменных процессах;
- качественный теплоноситель.

Все перечисленные выше пункты влияют не только на теплопотребление производственного предприятия, но и на объем и качество выпускаемой продукции.

Инструменты энергосбережения в системах потребления технологических газов, в том числе сжатого воздуха

Технологические газы, используемые в технологическом оборудовании, могут нести разные функции:

- участие в химических процессах;
- изоляция взрывоопасных и иных веществ;
- функцию перемешивания и транспортировки;
- функцию нагрева и охлаждения и др.

Из-за перерасхода сжатого воздуха и совершения лишней работы электропотребление большинства компрессорных станций оказывается на 30% больше практически достижимого электропотребления.

Инструменты энергосбережения в системах, использующих оборотную и необоротную воду

Вода используется на всех без исключения предприятиях и является еще одним видом потребляемых ресурсов. При оценке эффективности использования водных ресурсов необходимо уделять внимание доле объемов оборотного водоснабжения. Чем меньше воды покупается или добывается на технологические и иные нужды, тем больше средств экономит предприятие.

При оценке систем водоснабжения необходимо оценить эффективность работы насосных установок. Опыт показывает, что за счет правильного подбора напора насосных установок можно экономить до 30% электроэнергии.

Литература

1. Головоков, С.В. Энергосбережение на промышленных предприятиях/ С.В. Головоков – Энергосбережение и энергоэффективность, 2013. – 30 с.
2. Гуськов, В.А. Основные направления по достижению энергосбережения на примере ряда технологических процессов на производстве/ В.А. Гуськов – Энергосбережение на производстве, 2015. – 45 с.
3. Государственная программа "Энергосбережение" на 2016 - 2020 годы, утвержденная Постановлением Совета министров Республики Беларусь 28 марта 2016 г. N 248 (в ред. постановлений Совмина от 30.12.2016 N 1128, от 26.12.2017 N 1002, от 29.12.2018 N 986, от 03.05.2019 N 276, от 31.12.2019 N 972).
4. Данилов, О.Л. Учебные материалы / Энергосбережение на промышленном предприятии// курс лекций Московский энергетический институт [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gazinstitut.by/info/library_files/22/Jenergoberezhnie_v_teplojenergetike_i_teplotehno_logijah_Jelektronuj_kurs.pdf. – Дата доступа: 25.09.2020.
5. Игнатъев, В.Н. Советы по энергосбережению на промышленных предприятиях, руководитель проекта по повышению операционной эффективности и энергосбережению/ В.Н. Игнатъев // Энергосовет № 2(44) [Электронный ресурс] – 2016. – Режим доступа: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=595. – Дата доступа: 25.09.2020.

6. Стружков, П.В. / Способы экономии электроэнергии на производстве и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции П.В. Стружков, магистр, инженер электросвязи ОАО «Ростелеком», ВоГТУ, г. Вологда // Энергосовет № 2(27) [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=380. – Дата доступа: 27.09.2020.

7. Сергеев, Н.Н. / Монография: Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий/ Н.Н. Сергеев// [Электронный ресурс] – Ижевск, 2013. – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/235143915.pdf>. – Дата доступа: 27.09.2020.

УДК 621.3

СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Козловская Д.А., Лагунов Д.В.

Научный руководитель – ассистент Смоловская Д.М.

Наряду с промышленностью и автомобильным транспортом в число трёх крупнейших загрязнителей атмосферного воздуха входит энергетика.

Энергетическая проблема - одна из важнейших проблем, которые сегодня приходится решать человечеству. Уже стали привычными такие достижения науки и техники, как средства мгновенной связи, быстрый транспорт, освоение космического пространства. Но все это требует огромных затрат энергии. Резкий рост производства и потребления энергии выдвинул новую острую проблему загрязнения окружающей среды, которое представляет серьезную опасность для человечества.

Предприятия, вырабатывающие энергию, различные потребители энергии, а также предприятия, добывающие и перерабатывающие природные ресурсы для энергетики, объединены в топливно-энергетический комплект (ТЭК), одним из результатов функционирования которого является отрицательное воздействие на биосферу. Воздействие энергетики на биосферу проявляется на всех стадиях производства энергии: при извлечении и транспортировке ресурсов, при производстве, передаче и потреблении энергии.

Например, извлечение угля связано с изменением ландшафта, с образованием шахт, карьеров, отвалов; транспорт угля -- с потерями, рассеиванием твердых частиц в почву и в атмосферу. При сжигании органического топлива образуются оксиды углерода, серы, азота, соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенные (например, бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$), и другие вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии. Передача электроэнергии приводит к образованию мощных электромагнитных полей вблизи линий электропередачи. Работа энергетических установок неизбежно связана с выбросами тепловой энергии.

По объемам выброса вредных веществ в атмосферу предприятия теплоэнергетики занимают лидирующее место. Это почти тридцать процентов от общего числа выбросов всех предприятий различных отраслей. А это более шести миллионов тонн пыли, вредных соединений углерода, азота, серы, ванадия, почти всех элементов таблицы Менделеева. Закисление почвы кислотными дождями - это следствие такого процесса, как загрязнение воздуха ТЭЦ диоксидом серы. Накопление большого количества углекислого газа в атмосфере приводит к увеличению температуры воздуха на планете, ее среднегодовых показателей, что называется парниковым эффектом. Плохая экология ТЭЦ является причиной скопления в нижних слоях атмосферы аэрозольных химически вредных частиц и органической пыли. Это явление получило название "фотохимический туман", когда в условиях слабых ветров, сильной радиации солнца и повышенной концентрации фотооксидантов в воздухе над городами повисает смог. Если не принимать меры, это приводит к разрушению озонового слоя Земли. С каждым годом растет процент аллергиков различной степени тяжести. Загрязнение воздуха

ТЭЦ крайне опасно для здоровья и жизни жителей городов. Особенно губительно это для дыхательной и сердечно-сосудистой систем организма.

Из-за высокого уровня развития промышленности 93% всех газовых выбросов сосредоточено в Северном полушарии Земли. Основная часть продуктов сгорания всех видов топлива (90%) выбрасывается на площади около 3% от поверхности планеты -- в Европе, Японии и Северной Америке. Из газообразных веществ в наибольших количествах выбрасывается углекислый газ и угарный газ, которые образуются при сгорании топлива (угля, нефти, газа, автомобильного топлива и др.). Самые токсичные соединения, выбрасываемые в атмосферу, -- диоксид серы и оксиды азота.

Основными загрязняющими компонентами при строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов являются нефть и ее пары, сточные воды и продукты сгорания. Основными загрязнителями в нефтедобывающей промышленности являются углеводороды -- 48%, оксид углерода -- 44% и твердые вещества -- 4,4%. Рост доли нефтедобычи в выбросах промышленности обусловлен в значительной степени сжиганием в факелах добываемого попутного газа. Эффективным решением проблемы утилизации попутного газа является его использование на малогабаритных газогенераторных электростанциях, что позволит обеспечить потребности промыслов в электроэнергии и снизить эмиссию газа. Для улучшения экологической ситуации в нефтедобыче требуется ремонт и замена устаревшего оборудования нефтедобывающих предприятий, внутрипромысловых трубопроводов, с использованием труб с повышенными антикоррозийными свойствами.

Загрязнение атмосферного воздуха имеет серьезные последствия. Создается угроза здоровью человека, нормальному функционированию экосистем. Для нормального функционирования и устойчивости экосистем и биосферы в целом не следует превышать определенные нагрузки на них. В связи с этим необходимо вести поиск наиболее чувствительных звеньев в экосистемах, найти показатели, соответствующие наиболее сильнодействующим факторам, а также источники такого воздействия. Эти мероприятия входят в систему экологического мониторинга, под которым понимают единую систему средств и методов непрерывного наблюдения за состоянием окружающей среды и систему прогнозирования результатов антропогенного воздействия на нее. В задачи мониторинга входит наблюдение за состоянием биосферы, оценка и прогноз состояния окружающей среды, выявление факторов и источников антропогенного воздействия, обоснование решений по рациональному использованию природных ресурсов, регулирование процесса природопользования. Организация мониторинга должна решать как локальные задачи наблюдения за состоянием отдельных экосистем, так и задачи планетарного порядка, т. е. предусматривать систему глобального мониторинга.

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 рассмотрим 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 вредных отходов. В их числе можно назвать следующие:

1. Использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время на многих ТЭС улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров. Наиболее агрессивный загрязнитель - сернистый ангидрид на многих станциях не улавливается или улавливается в ограниченном количестве. В то же время имеются ТЭС (США, Япония), на которых производится практически полная очистка от данного загрязнителя, а также от окислов азота и других вредных поллютантов. Для этого используются специальные десульфурационные (для уловления диоксида и триоксида серы) и денитрификационные (для улавливания окислов азота) установки. Наиболее широко улавливание окислов серы и азота осуществляется посредством пропускания дымовых газов через раствор аммиака. Конечными продуктами такого процесса являются аммиачная селитра, используемая как минеральное удобрение, или раствор сульфита натрия. Такими установками улавливается до 96% окислов серы и более 80% оксидов азота. Существуют и другие методы очистки от названных газов.

2. Уменьшение поступления соединений серы в атмосферу посредством предварительного обессеривания (десульфурации) углей и других видов топлива (нефть, газ, горючие сланцы) химическими или физическими методами. Этими методами удается извлечь из топлива от 50 до 70% серы до момента его сжигания.

3. Большие и реальные возможности уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду связаны с экономией электроэнергии. Особенно велики такие возможности за счет снижения энергоемкости получаемых изделий.

4. Не менее значимы возможности экономии энергии в быту и на производстве за счет совершенствования изоляционных свойств зданий. Реальную экономию энергии дает замена ламп накаливания с КПД около 5% флуоресцентными, КПД которых в несколько раз выше. Крайне расточительно использование электрической энергии для получения тепла. Важно иметь в виду, что получение электрической энергии на ТЭС связано с потерей примерно 60-65% тепловой энергии, а на АЭС - не менее 70% энергии. Энергия теряет также при передаче ее по проводам на расстояние. Поэтому прямое сжигание топлива для получения тепла, особенно газа, намного рациональнее, чем через превращение его в электричество, а затем вновь в тепло.

5. Заметно повышается также КПД топлива при его использовании вместо ТЭС на ТЭЦ. В последнем случае объекты получения энергии приближаются к местам ее потребления и тем самым уменьшаются потери, связанные с передачей на расстояние. Наряду с электроэнергией на ТЭЦ используется тепло, которое улавливается охлаждающими агентами. При этом заметно сокращается вероятность теплового загрязнения водной среды. Наиболее экономично полу-

чения энергии на небольших установках типа ТЭЦ (иогенирование) непосредственно в зданиях. В этом случае потери тепловой и электрической энергии снижаются до минимума. Такие способы в отдельных странах находят все большее применение.

В заключении можно сделать вывод, что современный уровень знаний, а также имеющиеся и находящиеся в стадии разработок технологии дают основание для оптимистических прогнозов: человечеству не грозит тупиковая ситуация ни в отношении исчерпания энергетических ресурсов, ни в плане порождаемых энергетикой экологических проблем. Есть реальные возможности для перехода на альтернативные источники энергии (неисчерпаемые и экологически чистые). С этих позиций современные методы получения энергии можно рассматривать как своего рода переходные. Вопрос заключается в том, какова продолжительность этого переходного периода и какие имеются возможности для его сокращения.

Литература

1. Ахметшин, Э. Р. Влияние энергетического загрязнения окружающей среды на продолжительность жизни человека / Э. Р. Ахметшин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 1 (187). — С. 48-52. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/187/47644/> - (Дата доступа: 09.10.2020).
2. Влияние энергетики на загрязнение атмосферного воздуха — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://studwood.ru/1328383/ekologiya/vliyanie_energetiki_zagryaznenie_atmosfernogo_vozduha - (Дата доступа: 09.10.2020).
3. Экологические проблемы энергетики — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://revolution.allbest.ru/ecology/00479009_0.html - (Дата доступа: 09.10.2020).

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Тихно В.Д.

Научный руководитель – к.т.н, доцент Константинова С.В.

Когенерация — процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.

Когенерация есть термодинамическое производство двух или более форм полезной энергии из единственного первичного источника энергии.

Когенерационные установки — это оборудование, позволяющее вырабатывать электрическую и тепловую энергию одновременно.

К основным преимуществам когенерационных установок относятся [1]:

- Возможность децентрализованной генерации электроэнергии.
- Повышение эффективности использования топлива на 10–30 % в сравнении с отдельным производством того же количества электрической и тепловой энергии.
- Уменьшение удельных затрат топлива при генерировании электроэнергии почти в 2 раза в сравнении с аналогичным показателем действующих ТЭС.
- Возможность работы на биотопливе и на др. альтернативных видах топлива;
- Уменьшение выбросов парниковых и вредных газов в окружающую среду.
- Уменьшение потерь электроэнергии в электрических сетях, поскольку децентрализованные источники электроэнергии располагаются вблизи ее потребителей.

Диаграмма потоков энергии при отдельном и комбинированном производстве теплоты и электроэнергии представлена на рисунке 1. На рисунке числами обозначены части потоков энергии необходимые для генерации одного и того же количества тепловой и электрической энергии при отдельном и комбинированном производстве, на основании данных приведенных в [2].

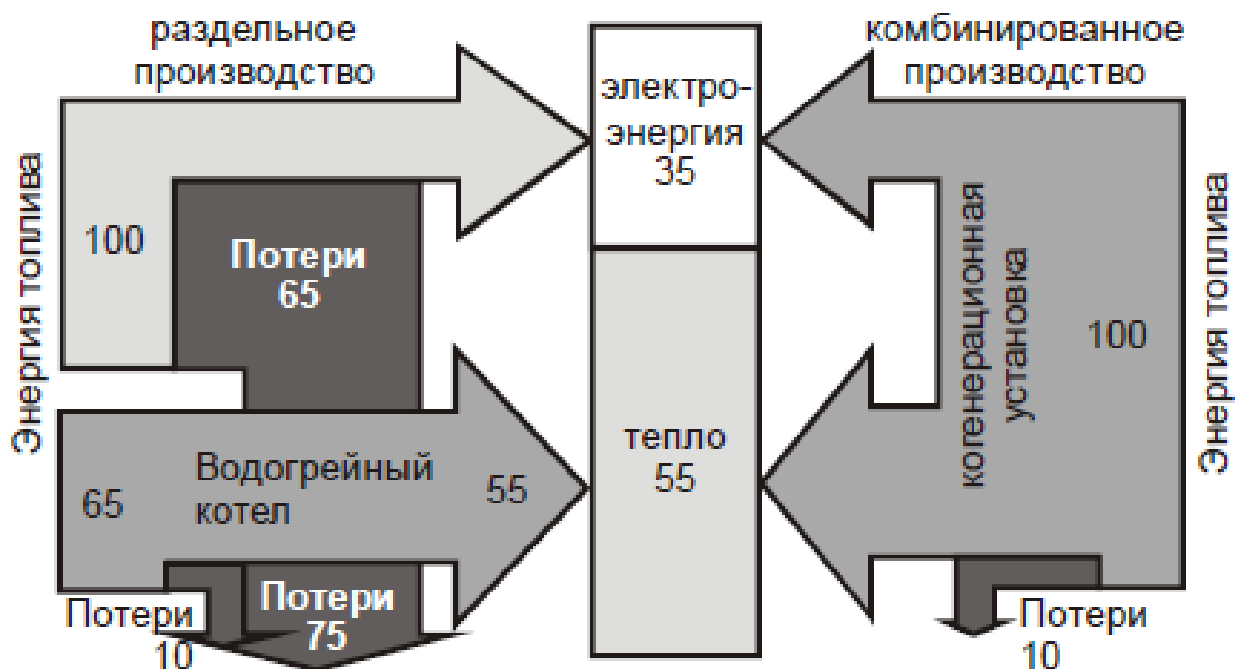


Рисунок 1 – Диаграмма потоков энергии при раздельном и комбинированном производстве теплоты и электроэнергии.

Когенерационная установка состоит из четырех основных частей:

- Первичный двигатель;
- Электродвигатель;
- Система утилизации тепла;
- Система контроля и управления;

В зависимости от существующих требований для когенерационных устройств малой и средней мощности, роль первичного двигателя может выполнять [3]:

1. Газотурбинные установки (ГТУ). В этих устройствах газ под давлением примерно до 2,5 МПа и воздух, сжимаемый в компрессоре, подаются в камеру сгорания, из которой продукты сгорания под давлением направляются в газовую турбину, преобразующую тепловую энергию в механическую, далее в электрическую. Наиболее распространенная единичная мощность газовых турбин составляет 6–50 МВт.

2. Паротурбинные установки (ПТУ). Паровая турбина работает в комплексе с паровыми котлами, используемыми в отопительных и производственных котельных. Пар с давлением 1,3 МПа расширяясь в турбине до давления, например, 0,12 МПа отдает затем в теплообменнике свою энергию воде, нагревая ее до требуемой температуры (например – до 150°С. Обычно единичная мощность паровых турбин составляет 0,5; 1,5; 3,5 МВт.

3. Поршневой двигатель с воспламенением от сжатия (дизельные двигатели) и поршневой двигатель с воспламенением от искры (газопоршневые двигатели). Дизельные и газопоршневые двигатели конструируются на базе двигателей внутреннего сгорания. В дизельных двигателях в основном используется дизельное топливо, в газопоршневых – природный газ.

Параметры когенерационных установок с различными видами первичных двигателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры когенерационных установок с различными первичными двигателями.

Двигатель	Используемое топливо	Диапазон мощностей, МВт	Отношение тепло: электро-энергия	Электрический КПД, %	Общий КПД, %
Паровая турбина	Любое	0,5-1000	3:1-8:1	35–37	До 80
Газовая турбина	Газ, биогаз, дизельное топливо, керосин	0,25-300	1,5:1-5:1	25-42	65-87
Поршневой двигатель с воспламенением от сжатия (дизель)	Газ, биогаз, дизельное топливо, керосин	0,2-20	0.5:1-3:1 (наиболее часто 0,9-2)	35-45	65-90
Поршневой двигатель с воспламенением от искры	Газ, биогаз, керосин	0,003-6	1:1-3:1 (наиболее часто 0,9-2)	35-43	70-90

Генераторы в когенерационной установке предназначены для преобразования механической энергии вращающегося вала первичного двигателя в электроэнергию. Генераторы могут быть синхронными или асинхронными. Синхронный генератор может работать в автономном режиме или параллельно с сетью. Асинхронный генератор может работать только параллельно с сетью.

Теплоутилизатор является основным компонентом когенерационной системы. Принцип его работы основан на использовании энергии отходящих горячих газов первичного двигателя (турбины или поршневого двигателя). Простейшая схема работы теплоутилизатора состоит в следующем: отходящие газы проходят через теплообменник, где производится перенос тепловой энергии жидкостному теплоносителю (вода, гликоль). После этого охлажденные отходящие газы выбрасываются в атмосферу, при этом их химический и количественный состав не меняется.

Для повышения производительности тепловой части когенерационной системы утилизатор может дополняться экономайзером — теплообменником, обеспечивающим предварительный подогрев теплоносителя отходящими из теплоутилизатора газами до его подачи в основной теплообменник, где нагрев теплоносителя обеспечивается уже теплом отходящих газов двигателя [3].

Оптимальный выбор когенерационной установки зависит от условий, в которых он используется. При этом основными критериями выбора является экономическая целесообразность, надежность, простота обслуживания наряду с учетом потребности объекта в теплоте и электроэнергии, а также суточной и сезонной неравномерности их потребления.

На рисунке 2 приведена зависимость потребляемой мощности от максимальной мощности нагрузки [2]. Видно, что некоторый потребитель будет использовать почти 90 % требуемого количества энергии в течение месяца при уровнях нагрузок, которые равны или меньше 70 % от пикового значения нагрузки. Следовательно, если устанавливается двигатель-генераторная установка мощностью 70 % от пиковой нагрузки, она обеспечит подачу 90 % требуемого потребителем количества энергии за месяц. Для того, чтобы увеличить подачу энергии от 90 % до 100 % (т. е. увеличить лишь на 11 %), мощность генераторной установки должна быть увеличена от 70 % до 100 %, т. е. на 43 % относительных. Такое возрастание мощности установки и, следовательно, ее стоимости вряд ли будет экономически оправданным, если не рассматривать условия продажи избытка электроэнергии в электросеть по благоприятным ценам.

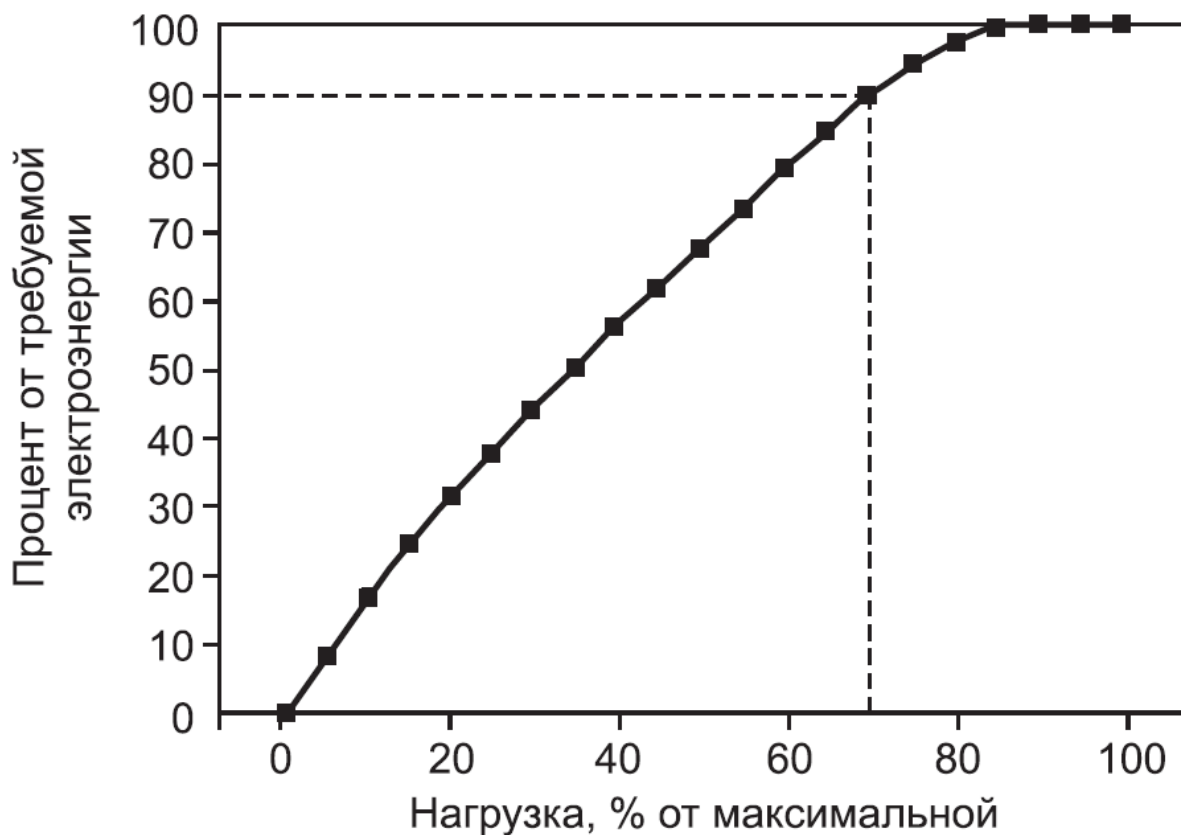


Рисунок 2 - Зависимость потребляемой мощности от максимальной мощности нагрузки

В общем случае когенерационная установка не может работать в согласованном режиме с потребителем и по электрической и по тепловой нагрузке одновременно. Поэтому на практике могут быть реализованы следующие режимы работы [1]:

1. Режим согласования тепловой нагрузки: полезная тепловая мощность когенерационной установки в любой момент времени равна тепловой нагрузке. Если при этом генерируемая электрическая мощность выше, чем электрическая нагрузка, избыток мощности продается в электросеть; если она меньше нагрузки, то дополнительное количество электроэнергии закупается из электросети.

2. Режим согласования электрической нагрузки: генерируемая электрическая мощность в любой момент времени равна электрической нагрузке. Если количество выработанной тепловой энергии больше, чем требуемая тепловая нагрузка, то теплота сбрасывается в окружающую среду через охладители (градирни) или с выхлопными газами двигателя; если тепловая нагрузка больше производимой теплоты, используют дожигание топлива в котле-утилизаторе, либо вспомогательный (пиковый) котел.

3. Смешанный режим работы – в определенные периоды времени применяется режим согласования по тепловой мощности, в другие периоды времени – режим согласования по электрической мощности. Выбор определяется такими факторами, как уровни нагрузок, стоимость топлива, тариф на электроэнергию в определенные дни и часы.

4. Автономный режим – полное удовлетворение электрических и тепловых нагрузок в любые моменты времени при отсутствии связи с электросетью. Этот режим требует, чтобы система имела резервные электрическую и тепловую мощности, чтобы в случае выхода из строя генерирующего оборудования по любой причине, резервное оборудование могло бы полностью обеспечить покрытие электрических и тепловых нагрузок. Такая когенерационная система является наиболее дорогой, по крайней мере, с точки зрения первоначальных капиталовложений.

Выбор когенерационной системы должен базироваться на требованиях, определенных инвестором и пользователем системы, на идеологии получения наилучших экономических и энергетических показателей эффективности, преимущественном использовании отечественного оборудования [1].

Таким образом, в ходе выбора системы необходимо определить:

- тип первичного двигателя когенерационной установки;
- количество приводных тепловых двигателей и мощность каждого из них;
- теплоутилизующее оборудование;
- необходимость тепловых аккумуляторов;
- условия работы с внешней электросетью (в автономном режиме, параллельно с сетью, в комбинированном режиме);
- режим работы системы (рабочие энергетические и тепловые мощности) в текущем времени;
- возможность осуществления когенерационной технологии в комплексе с другими энергоресурсосберегающими технологиями;
- возможности максимального увеличения тепловой нагрузки когенерационной установки за счет внешних потребителей теплоты, применения абсорбционных машин для производства «холода» и т. п.

Литература

1. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. – В 3-х частях / сост.: Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П.; под. ред. А. И. Мазура; – К.: Ин-т прикладных исслед. в энергетике НАН Украины, 2008 – ч.1. – 559с.
2. Educogen: The European educational tool on cogeneration. – Second edition, December 2001. – 174 с.

3. Когенерация, использование когенерационных установок / С.А. Гудков, Е.А. Лебедева; – Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ). – 2006. – 21с.

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С УСТАНОВКОЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Ефименко В.В., Манзуля Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

КОТЕЛЬНЫЕ НА МЕСТНОМ ВИДЕ ТОПЛИВА

Шепко Е. А., Войтик К. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т. А.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЗА РУБЕЖОМ

Стрик Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ 21 ВЕКА

Стрик Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВЭР

Покровский Н.С, Сиваков Т. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПУСКА НА БЛОЧНЫХ ТУРБОУСТАНОВКАХ

Дудинец А.С., Пашкевич И.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Айдарова З. Б.

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Мартыненко А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Плавский С. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т. А.

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КОТЕЛЬНЫХ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ.

Василевский И.В., Яцухно Я.С.

Научные руководители – д.т.н., профессор Романюк В.Н., старший преподаватель Петровская Т. А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ВЭР) НА ТЭЦ

Кузьмич М.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Коржаченко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Куценко П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Лагойко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ РАСЧЕТ

Подосиновик А.В., Завадский В.С., Мялик А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С УСТАНОВКОЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Савич Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

БЛОЧНО-МОДУЛЬНАЯ КОТЕЛЬНАЯ СТОЛЬЦОВСКОГО ФИЛИАЛА ОАО «ГОРОДЕЙСКИЙ САХАРНЫЙ КОМБИНАТ»

Лось А.В., Щекало А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

ХАРАКТЕРНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЭЦ И ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ФИЛИАЛЕ «ПИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ» РУП «БРЕСТЭНЕРГО»

Рапута А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОФИСНО-ГОСТИНИЧНОГО КОМПЛЕКСА «ВИКТОРИЯ»

Журавская К.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

АНАЛИЗ СХЕМЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ФИЛИАЛА РУП «МОГИЛЕВЭНЕРГО» «БОБРУЙСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ»

Чечуха В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ХАРАКТЕРИСТИКА БЛОКА ПГУ-230 МИНСКОЙ ТЭЦ-3

Козинцов Н.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И. Н.

ОСНОВНЕ ОБОРУДОВАНИЕ «МОГИЛЁВСКАЯ ТЭЦ-2» РУП «МОГИЛЁВЭНЕРГО»

Малюжанец Ж.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЗАО «АТЛАНТ». ОСНОВНОЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКО ОБОРУДОВАНИЕ

Михолап К.А., Стельмах А.А., Мордас К.А., Чешкин А.В

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОАО "МОЗЫРЬСОЛЬ" Г. МОЗЫРЬ

Кохан Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ DALI

Перехвал П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДГ90Л2.1

Меновщиков Д.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

СРАВНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Калий В.А.

Научный руководитель – ассистент Иванчиков Е.О.

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ТИПА BVS GMBH HDK

Калий В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТАНЦИЙ МИНСКОГО
МЕТРОПОЛИТЕНА С ВНЕДРЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Рыктер В.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ТОПЛИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО МИНСКОЙ “ТЭЦ-4” РУП “МИНСКЭНЕРГО”

Петровский Н.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

Мартинчук Ю.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

ТЕПЛОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Мартинчук А.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО СБЕРЕЖЕНИЮ ТЭР НА ОАО «УКХ
БОБРУЙСКАГРОМАШ»**

Борбуш А.Л.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

**АБСОРБАЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ КАК ЗАМЕНА
КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Вашилов С.А., Кот А.С., Станкевич П.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ НА ПИРМЕРЕ «СЛУЦКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ»**

Ипатюк Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБИН ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ
РЕДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

Губар Е.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

**ОБЗОР НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ**

Сырица Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Матявин А.А.

ПРИНЦИП РАБОТЫ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Матус Е.В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосюк Н.А.

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Василевская В.В., Лихтар Д.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосяк Н.А.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Власенко А.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосяк Н.А.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ТОРФЯНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Царик О.Г.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосяк Н.А.

УДК 621.57

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С УСТАНОВКОЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Ефименко В.В., Манзуля Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Главной задачей на сегодняшний день является повышение эффективности отопительных котельных. Многие производители стали выпускать оборудование, которое прошло успешную апробацию. Например, абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы (АБТН) и контактные газо-воздушные теплообменники (КТО). В данной статье кратко рассматривается устройство АБТН.

ТНУ – устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Тепловые насосы являются сегодня признанным энергоэффективным и экологически чистым теплогенерирующим оборудованием. В мире каждый год эксплуатируют около 2 млн. тепловых насосов разных типов и мощности. Они устанавливаются в жилых домах, промышленных и коммунальных предприятиях. Использование ТНУ связано с применением парокомпрессионных тепловых насосов (ПКТН).

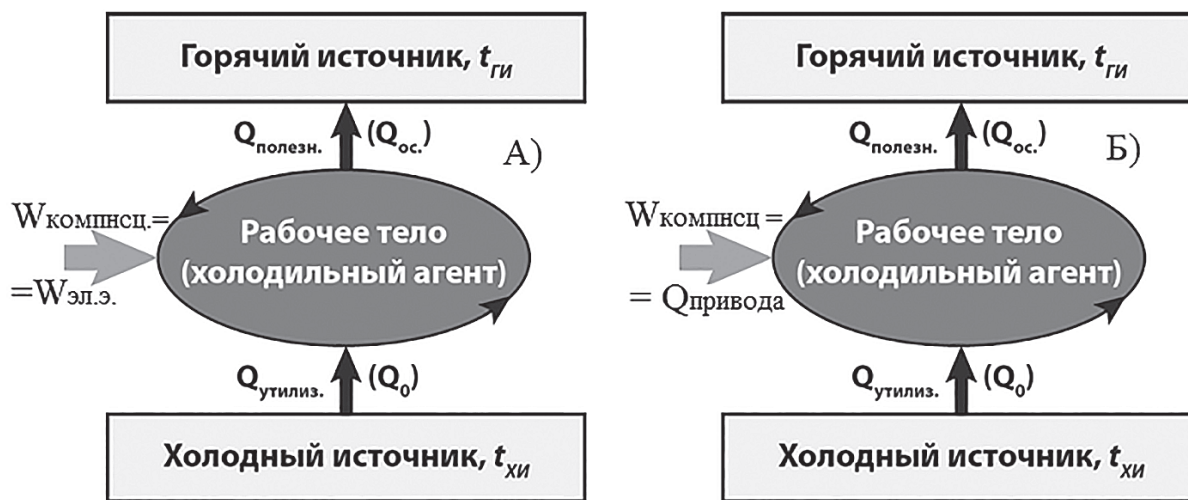


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТНУ: А – компрессионной, использующей для привода электроэнергию; Б – абсорбционной, использующей для привода тепловую энергию.

Эффективность АБТН зависит от температурного спектра, в котором он используется. Чем меньше данный диапазон, тем выше энергетические показатели установки. Энергетический КПД, который используется для АБТН, названный отопительным коэффициентом, составляет величину порядка 1,7 или 170%. В данном случае баланс теплоты АБТН будет выглядеть: 100% - полезная составляющая теплового баланса, т.е. теплота нагрева сетевой воды, передаваемая потребителю; 40% - теплота утилизируемого низкотемпературного потока; 60% - теплота, затрачиваемая на привод АБТН.

Если проанализировать применение АБТН совместно с контактным теплообменником с целью утилизации теплоты глубокого остывания дымовых

газов котельной, а также с дальнейшим нагревом сетевой воды в АБТН; можно заметить, что :

- Температура оборотной воды находится в диапазоне от 35⁰С до 25⁰С;
- Температура обратной сетевой воды – от 40⁰С до 50⁰С;
- Температура прямой сетевой воды - от 60⁰С до 85⁰С;

Увеличение производительности использования топлива на котельных достигается при применении теплоты глубокого охлаждения дымовых газов в результате установки набора «АБТН-КТО».

Использование внутри труб внутренних стволов для пропуска дымовых газов необходимо для обеспечения работоспособности уже имеющих дымовых труб в абсолютно всех режимах.

Применение тепловых насосов переводит теплоснабжение на более высокий уровень централизации, который присущ системам электроснабжения. Развитие энергоснабжения на котельной за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков уходящих дымовых газов с помощью КТО и АБТН уменьшает расход топлива до 12-15%.

Литература

1. Романюк, В.Н. Абсорбционные или пароконденсационные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, С.В. Мальков. // Энергия и Менеджмент. - 2013. - № 4-5 (73-74). - С. 18–2
2. Директива Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» (нац. реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г. № 146, 1/8668. Указом Президента Республики Беларусь внесены изм. 26.01.2016 г. № 26 «О внесении изменений и дополнений в Директивы Президента Республики Беларусь № 3»).
3. Опыт Китая и Кореи – очень далеко и очень полезно / Энергия и Менеджмент. - 2013. - № 6 (75). - С. 29–36.

УДК 621.182

КОТЕЛЬНЫЕ НА МЕСТНОМ ВИДЕ ТОПЛИВА

Шепко Е. А., Войтик К. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т. А.

В стране существует множество отдалённых населённых пунктов, нуждающихся в системе теплоснабжения, но из-за сложности подвода природного газа и повышении цен на газ многие населенные пункты для решения этой проблемы рассматривают вариант использования котельных на местных видах топлива.

В соответствии с Государственной комплексной программой потребление местных видов топлива в стране планируется повысить до 25 % от общего потребления первичных топливно-энергетических ресурсов. Поэтому на данный момент в Республике Беларусь 79% котельных работают на местном виде топлива. В октябре 2020 года были модернизированы три котельные с переводом их на местные виды топлива в Брестской области, а так же в агрогородке Дивин Кобринского района введена в эксплуатацию котельная с мощностью 4 МВт. В стадии завершения и перехода в режим пуско-наладочных работ находится котельная мощностью 6,5 МВт в поселке Речица Столинского района.



Рисунок 1 – Реконструированная котельная в Дивине: слева – вид снаружи; справа – вид внутри котельной

Основными преимуществами котельных на местных видах топлива являются невысокая стоимость и доступность сырья по сравнению с природным газом и углем, работа без использования электричества, большой срок эксплуатации, простота установки, экологичность сырья, а также автономию от перебоев с поставками топлива, импортозамещение и энергобезопасность страны, новые рабочие места. На базе котла с использованием местных видов топлива можно смонтировать систему отопления независимую от каких-либо коммуникаций. Но наряду с преимуществами есть и недостатки такие как: постоянный контроль: они не могут работать в автоматическом режиме, требуется постоянная дозагрузка топлива и ежедневная чистка топки котла. Эффективность сжигания такого топлива ниже, чем газа или солярки.

Применение котельных на местных видах топлива позволит значительно сократить потребление других видов топлива, что допустило экономию с 1996 года 29 миллионов тонн топлива. В связи с этим в Республике Беларусь начали появляться производители автоматизированных котлов и других необходимых элементов для строительства энергоисточников на местном виде топлива. Тема снижения затрат на тепло- и электроснабжение является актуальной во все времена, и особенно важна теперь, когда задачи экономного и эффективного использования тепло- и энергоресурсов являются одной из составляющих энергетической безопасности страны. С каждым годом всё больше и больше котельных переводят на местные виды топлива так как строительство и использование энергоисточника на местном виде топлива позволит надежно и бесперебойно обеспечивать население теплом и горячей водой экономия при этом значительные средства.

Литература

1. Шесть котельных на местных видах топлива заработали в Беларуси в 2019 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sputnik.by/economy/20191126/1043332441/Shest-kotelnykh-na-mestnykh-vidakh-topliva-zarabotali-v-Belarusi-v-2019-godu.html> - Дата доступа: 18.10.2020.
2. Мини-ТЭЦ на местных видах топлива открылась в Калинковичах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/regions/view/mini-tets-na-mestnyh-vidah-topliva-otkrylas-v-kalinkovichah-334689-2019/> - Дата доступа: 18.10.2020.

УДК 621.039

**АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
И ЗА РУБЕЖОМ**

Стрик Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Человечество направляет свои усилия на открытие новых источников энергии, снижение стоимости их добычи и экологичности. Последними разработками в энергетике считаются атомные электростанции. В октябре 2020 года на Островецкой БелАЭС был запущен первый реактор. После ввода АЭС тарифы для потребителей будут менее зависимы от цены на энергоносители. Основным энергоносителем на территории Республики Беларусь является природный газ. Стоимость 1000 м^3 природного газа для бюджетных предприятий с теплотой сгорания $Q_{\text{нр}} = 7900 \text{ ккал/м}^3$ составила 516,58 бел.руб без учета НДС. Планируется перевод предприятий и индивидуальных потребителей исключительно на электрическую энергию, а также увеличение экспорта до 2 млрд кВт·ч в год. Запуск Островецкой АЭС позволит повысить качество образования и подготовку специалистов.

Российские исследователи достигли успеха в разработке плавучей атомной электростанции (ПАТЭС) "Академик Ломоносов". Она представляет собой энергоблок малой мощности. Уникальной особенностью ПАТЭС является многофункциональность: возможность обеспечить отдаленные изолированные регионы страны теплом, электроэнергией и питьевой водой. С декабря 2020 года "Академик Ломоносов" выработал 47,3 млн кВт ч электроэнергии, обеспечив около 20% регионального спроса. Он оснащен двумя атомными реакторами ледокола КЛТ-40С, вырабатывающими до 70 МВт электроэнергии и 50 Гкал/час тепловой энергии. Такая же ПАТЭС планируется построиться и в Китае, для снабжения отдаленных островов и территорий с истощением запаса нефти и газа. Суммарная мощность 45 реакторов в Китае составляет 41,7 ГВт.

Тема развития атомных электростанций приводит к вопросам экологичности и уровня радиации. Но, как показывает мировая практика, всё больше актуальна. Во Франции производится 75% всей атомной энергии мира и это на территории 643,8 тыс. км², состоящей из 59 атомных реакторов мощностью 70 ГВт.

Литература

1. Как следующее поколение ядерных реакторов могут быть меньше, экологичнее и безопаснее[Электронный ресурс] -2020.- Режим доступа: <https://www.pbs.org/newshour/science/how-the-next-generation-of-nuclear-reactors-could-be-smaller-greener-and-safer/>.- Дата доступа: 15.10.2020.

УДК 621.51

КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ 21 ВЕКА

Стрик Е.Б.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Изучение компрессорных установок начинается с классических поршневых компрессорных установок. Они активно используются в промышленных и бытовых целях. Поршневой компрессор представляет собой полый цилиндр, расположенный вертикально, горизонтально, под наклоном, поршня, а также всасывающего и нагнетательного клапанов. Принцип их работы заключается: при ходе поршня воздух сжимается, давление растёт. Всасывающий клапан срабатывает и закрывается, параллельно этому сжатый воздух выталкивается в конденсатор через нагнетательный клапан. Затем поршень приходит в первоначальное состояние и нагнетательный клапан закрывается. Процесс повторяется. Чем меньше объем камеры, тем выше давление воздуха на выходе.

Для снижения износа поршня и стенок цилиндра подают масло, но, в таких случаях, устанавливают сепаратор в линии подачи. Сепаратор помогает убрать части масла, для получения чистого воздуха.

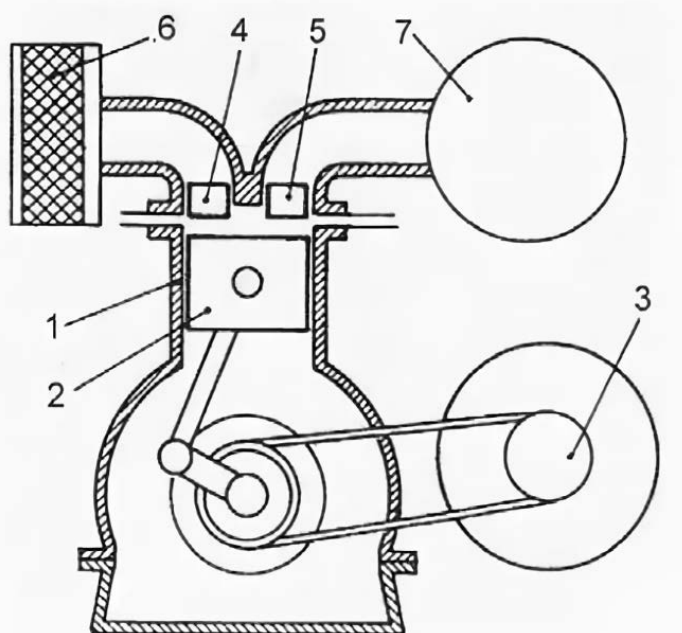


Рисунок 1 – Принципиальная схема поршневого компрессора

1 – цилиндр компрессора, 2 – поршень, 3 – привод вала компрессора, 4 и 5 – всасывающий и нагнетательные клапана, 6 – фильтр, 7 – ресивер.

В современном производстве все чаще встречаются роторные компрессора. Так на предприятии ОАО «Гродножилстрой» во всей компрессорной произведена замена поршневого оборудования, последний из них был установлен в январе 2020 года. Предпочтение отдается импортным моделям (Польша, Россия).



Рисунок 2 – Маслосмазываемый роторный компрессор

В данной установке управление происходит через встроенный монитор, который программируется в зависимости от объекта назначения.

Роторные компрессоры – это еще один тип компрессоров. В нем используются два асимметричных ротора, которые называются шестернями для сжатия воздуха.

Роторы имеют особую форму и вращаются в противоположных направлениях с небольшим зазором между ними. Роторы покрыты рубашками охлаждения. На роторах размещены два вала, которые передают свое движение с помощью зубчатых передач ГРМ, прикрепленных в начальной точке валов / компрессора. Воздух всасывается с одного конца и попадает в ловушку между роторами, а затем выталкивается на другую сторону роторов. Затем он оттолкнулся в сторону повышенного давления.

Роторные компрессоры бывают двух типов – безмасляные и масляные. Масляный инжектор дешевле и наиболее распространен, чем безмасляные роторные компрессоры.

Поршневые компрессоры – выраженные шум и вибрации, загрязненный маслом воздух, но эффективные и просты в обслуживании, переменная работа. Роторные компрессоры – компактные, подходят для крупных предприятий, меньше шума и вибраций, но дорогие и необходимо их использовать постоянно.

Литература

1. Работа и принцип действия поршневого компрессора. Технические характеристики и применение//каталог товаров [Электронный ресурс].-2020.- Режим доступа: https://dileks.ru/blog/obzory-tovarov/piston_compr/ .-Дата доступа 20.09.2020.
2. Принцип работы поршневого компрессора//энциклопедия [Электронный ресурс].-2015.- Режим доступа: <https://mydocx.ru/3-28607.html> .- Дата доступа 20.09.2020.

УДК 621.57

УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВЭР

Покровский Н.С, Сиваков Т. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

В данной работе рассматривается утилизации низкотемпературных тепловых ВЭР для понижения энергетических затрат. Рассмотрено описание установки, предпосылки и условия её применения, экономическая выгода, а также её внедрение на ОАО «Мозырьсоль».

Утилизация низкотемпературных тепловых ВЭР проводится по следующим причинам: увеличения энергоэффективности, снижение себестоимости продукции, понижение затрат на первичные энергоресурсы. В статье остановимся на вопросе энергосбережения.

Повышение эффективности использования первичных энергоресурсов является общей актуальной задачей большинства стран, так как дальнейшее развитие энергообеспечения потребителей традиционным экстенсивным путем, в основе которого лежит наращивание добычи первичных энергоресурсов, наталкивается на ограничения экономического, экологического и технического характера. Для увеличения эффективности производств используется необходимое оборудование, например, абсорбционный бромисто-литиевый тепловой насос (АБТН).

АБТН – высокоэффективное энергосберегающее оборудование для теплоснабжения различных объектов и предназначены для нагрева воды до 50 – 90°С с использованием в качестве источника энергии теплоты греющего пара с давлением до 0,75 МПа, а также низкопотенциальной сбросной или природной теплоты от различных источников с температурой 20 - 40°С. АБТН имеют исключительные потребительские свойства: высокую эффективность, экологическую чистоту, низкий уровень шума при работе, простоту в обслуживании, длительный срок службы и полную автоматизацию. Также преимуществом является то, что холодильный агент (водный раствор LiBr) не требует никакого-либо учета в государственных институтах, связанных с охраной окружающей среды и, при квалифицированной эксплуатации, ни замены в течение всего срока службы АБТН, составляющего 30 лет.

Принцип действия АБТН основан на способности раствора абсорбента поглощать водяные пары, имеющие более низкую температуру чем раствор. Хладагент вода кипит под вакуумом на трубном пучке испарителя за счет теплоты, отводимой от циркулирующей в трубках охлаждаемой среды (источника низкопотенциальной теплоты). Водяные пары поглощаются раствором абсорбента на трубном пучке абсорбера с выделением теплоты, которая отводится циркулирующей в трубках нагреваемой водой. Разбавленный раствор из абсорбера откачивается в генератор, где на трубном пучке осуществляется регенерация (выпаривание) поглощенных в абсорбере водяных паров за счет теплоты греющего теплоносителя. Сконденсированные нагреваемой водой в конденсаторе водяные пары хладагента возвращаются в

испаритель, а концентрированный раствор - в абсорбер. Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется, и чем этот диапазон уже, тем выше энергетические показатели установки.

Использование низкотемпературных тепловых ВЭР в системах централизованного теплоснабжения, имеет известную сезонную неравномерность, характеризуемую периодом их годового использования с номинальной мощностью менее 5 тысяч часов, однако, опыт использования АБТН сугубо в системе теплоснабжения ОАО «СветлогорскХимволокно» дает простой срок возврата инвестиций до двух лет, что отвечает современным представлениям об экономической эффективности энергосберегающих проектов.

Наибольшую экономическую эффективность от утилизации низкотемпературных тепловых ВЭР следует ожидать при использовании теплоты от АБТН непосредственно в теплотехнологиях, где годовое число часов использования с номинальной мощностью находится на уровне 6-8 тысяч

Отсутствие на производстве технологических потребителей с водяным теплоносителем или необходимость тепловых операций с температурами более высокими, чем температура получаемой от АБТН сетевой воды, не являются непреодолимыми барьерами и успешно преодолеваются за счет технических решений. Опасение в части снижения надежности энергообеспечения основного производства излишни, поскольку штатные системы нагрева сырьевых потоков остаются в непрерывной работе в качестве основных, а с ними сопрягаются в качестве низкотемпературных нагреватели первых ступеней, использующие сетевую воду АБТН. При этом сопряжение выполняется так, что ни гидравлика, ни аэродинамика штатных систем нагрева не затрагиваются, что обеспечивает безусловное бесперебойное выполнение основных технологических процессов. Последнее условие требует дифференцированного, квалифицированного подхода к выбору проектных решений.

Наиболее ярким примером того, как надо постоянно совершенствовать основной технологический процесс и его энергообеспечение, является ОАО «Мозырьсоль». Теплотехнология ОАО «Мозырьсоль» отличается тем, что непрерывно, на протяжении 8 тыс. часов в году через систему оборотного водоснабжения от барометрических конденсаторов в атмосферу отводится от 33 до 50 Гкал/ч теплоты с температурой 40°C. Руководство предприятия обратилось в РУП «БелТЭИ» с предложением разработать проект реконструкции энергоиспользования теплотехнологии ОАО «Мозырьсоль» путем утилизации низкотемпературных тепловых ВЭР. Успех определялся тем, будет ли найдена возможность использования сетевой воды с температурой порядка 80–85°C в технологической схеме нагрева с паровым теплоносителем. В результате совместной работы с технологами и специалистами отдела главного энергетика согласованы решения, позволяющие утилизировать 12 Гкал/ч теплоты указанной температуры, из которых 5 Гкал/ч поступают от градирен, т.е. их можно считать бестопливными. При этом, кроме снижения загрязнения окружающей среды тепловыми выбросами, снизилось потребление воды на подпитку системы оборотного водоснабжения на 8,5 м³/ч. Годовой экономический эффект от

реализации проекта превысит 1,0 млн USD, что подтверждено государственной экспертизой на стадии архитектурного проекта. Наличие хлоридов в атмосфере и технологических потоках потребовало применения титана в тепловых аппаратах, что повлекло увеличение требуемых инвестиций, которые окупаются в срок до 4,5 лет.

В итоге можно констатировать:

1. Утилизация низкотемпературных тепловых потоков в настоящее время является для Беларуси перспективной задачей, решение которой при должном подходе может обеспечить снижение импорта природного газа на величину до 3 млн т у.т. в год, что снизит импорт природного газа на величину до 12%

2. Утилизацию низкотемпературных тепловых ВЭР наиболее целесообразно осуществлять на базе абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов, что обеспечивает:

- на большинстве котельных за счет охлаждения уходящих дымовых газов до 30°C снижение потребления топлива при сохранении тепловых нагрузок на 15%;
- на теплотехнологических промышленных предприятиях в системе их теплоснабжения экономию до 40% и непосредственно в теплотехнологиях. В последнем случае экономический эффект увеличивается за счет увеличения годового числа использования устанавливаемого оборудования с 5 до 8 тыс. часов;
- энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения промышленных узлов вокруг ТЭЦ. Технико-экономическое обоснование пилотного проекта на промышленном узле Мозырской ТЭЦ разработано, прошло апробацию в ходе многочисленных совещаний и может быть рассмотрено для дальнейшей реализации

3. Технические решения, установки, прошедшие достаточную апробацию в мире, предлагаются многими производителями энергосберегающего оборудования.

4. Экономические показатели проектов утилизации низкотемпературных тепловых потоков отвечают требованиям времени и подтверждены опытом их внедрения в мире и в Беларуси.

Литература

1. Романюк В.Н, Бобич А.А. Повышение энергетической эффективности и снижение энергетической составляющей стоимости продукции теплоэнергетических и теплотехнических производств в современных условиях [Текст] // Энергоэффективность. – 2019. – Август 2019. – С. 8-15.

УДК 621.438.1

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПУСКА НА БЛОЧНЫХ ТУРБОУСТАНОВКАХ

Дудинец А.С., Пашкевич И.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Айдарова З. Б.

Пуск паровой турбины один из наиболее сложных режимов ее эксплуатации, так как вступают в противоречие два основных фактора: надежность и экономичность.

Сокращение время пуска и соответственно пусковых потерь топлива противоречит обеспечению основных пусковых критериев машин. Абсолютное значение пусковых потерь $B_{\text{пуск}}$ в основном определяется исходным тепловым состоянием турбины или продолжительностью её простоя. Так величины $B_{\text{пуск}}$ отличаются вдвое при пусках из горячего и холодного состояний. Максимальные потери приходятся фактически на этап от розжига горелок котла до синхронизации генератора и включения его в сеть. На этот период приходится половина пусковых потерь топлива. Поэтому сокращения пусковых потерь можно добиться уменьшением продолжительности этого этапа. Существующие технологии пуска отечественных блочных турбоустановок построены на основе использования двух расширителей: встроенного сепаратора (ВС) и растопочного расширителя (Р-20). Толчок ротора турбины осуществляется паром скользящих параметров с температурой превышающей на 100 °С температуру металла сё паровпуска. А так как на начало пуска паропроводы свежего пара всегда холоднее турбины, то это и приводит к задержке на анализируемом этапе связанной с соблюдением допустимых скоростей их прогрева. И чем больше простояла машина, тем больше разница температур металла паропроводов и турбины соответственно, увеличивается время на устранение этой разницы и растут пусковые потери. Пусковые потери обусловлены сбросом в холодный источник пара прогревающего тракт перед турбиной и горячей воды из Р-20, так как незначительная часть теплоты сожженного в котле топлива полезно расходуется на прогрев металла. Пусковые потери могут быть сокращены на основе применения новой технологии пуска. Ее отличительной особенностью является использование энергии потоков сбрасываемых в конденсатор по традиционным пусковым технологиям для более раннего пуска турбины подачей низкопотенциального пара в промежуточную ступень турбины с последующей быстрой синхронизацией генератора и организацией противоточного прогрева её проточной части потерями трения и вентиляции. Это может быть реализовано за счет использования в пусковой схеме блочной ПТУ расширителя перегретой воды (здесь и далее будем называть его пускосбросным расширителем - ПСР), соединенного по пару с паровпуском ЦНД, а по воде с конденсатором турбины. В ПСР подаётся горячий дренаж растопочного расширителя Р-20, где за счёт снижения давления он вскипает, питая ЧНД турбины сухим насыщенным паром. Причём, в конденсатор будет сбрасываться из ПСР дренаж с температурой насыщения, определяемой давлением пара перед ЦНД, которая заметно ниже температуры среды, поступающей из растопочного расширителя. По мере

появления пара после пароперегревателя имеется возможность смешения его с сухим насыщенным паром ПСР, что снижает конечную влажность пара за турбиной на пусковых режимах при одновременном повышении располагаемого на ЦНД теплоперепада. Это позволяет изменять температуру пара перед ЦНД в широких пределах (рис. 1).

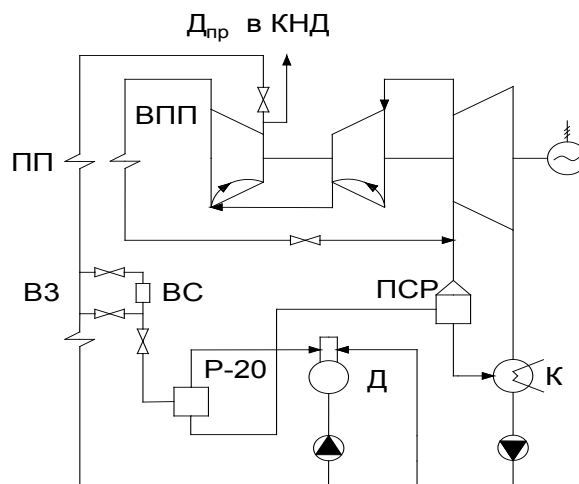


Рисунок 1 – Принципиальная схема пуска блока с подачей пара в промежуточную ступень и противоточным прогревом ЧВСД в моторном режиме

Анализ показал, что расхода пара из ПСР достаточно для обеспечения толчка ротора турбины уже через 10 минут после розжига горелок котла. ЦВД и ЦСД турбины при этом будут работать в моторном режиме с противоточным потоком пара ($D_{пр}$). Последнее используется как средство прогрева проточной части (ПЧ) высокого и среднего давления. Предварительный прогрев ПЧ позволяет повысить исходное температурное состояние турбины, что очень важно, так как появляется возможность приблизить по времени пуски из любых температурных состояний к пускам из горячего состояния, это сократит общую продолжительность пуска и пусковых потери, а также существенно снизит негативные влияния режима на металл турбины. Важным является направление движения пара через ЦСД и ЦВД при такой схеме прогрева. Подача пара на прогрев к выходной части ЦСД и сброс его со стороны паровпуска ЦВД в общестанционный коллектор низкого давления (КНД) благоприятно скажется на изменении температуры пара вдоль проточной части. Его противоточное движение вместе с подводом мощности трения и вентиляции к этому потоку пара гарантируют увеличение температуры в направлении от "хвоста". Данный способ выгодно отличается от существующих, когда пар проходит в нормальном направлении, расширяясь в турбине, что может приводить либо к захолаживанию при больших его количествах, либо к перегреву выхлопа ЦВД - при малых. Противоточный прогрев проточной части ЦСД и ЦВД может эффективно управляться за счет изменения температуры, количества и давления пара подаваемого на прогрев.

Сравнительно высокий потенциал теплоты и большие расходы среды позволяют получить довольно значительные (до 45 кг/с) расходы пара в ЦНД и

ПСР. Величина расхода пара в ЦНД определяется режимом форсировки топки или параметрами среды до ВЗ. Получение значительных расходов пара в ПСР происходит уже на ранней стадии растопки котла. Более ранний толчок ротора имеет большое значение для обеспечения возможности прогрева проточной части обратным от ЦНД к ЦВД потоком пара. Это справедливо при условии, что энергии пара ПСР будет достаточно для заполнения толчка ротора турбины. Разворот ротора осуществляется за счет совершения работы пара при его расширении в турбине, которая затрачивается на преодоление сил трения в подшипниках турбины, генератора и вращающихся дисков, а также инерционных сил. Величина расхода пара на холостой ход при пуске по новой технологии составляет порядка 20...25 кг/с. Однако эта величина при противоточном прогреве ЦВД и ЦСД уменьшится при снижении плотности пара в них. Анализ полученных результатов позволяет заключить, что пара ПСР достаточно для толчка и разворота ротора турбины вплоть до $n = 50 \text{ с}^{-1}$. Новая технология пуска позволяет существенно сократить период от розжига горелок котла до синхронизации генератора и благодаря этому уменьшить пусковые потери топлива. Однако основное сокращение пусковых потерь обеспечивается благодаря повышению теплового состояния турбины за счет ее противоточного прогрева. Этот прогрев целесообразно совместить с прогревом тракта свежего пара вплоть до достижения нужного теплового состояния последнего, после чего открытием регулирующих клапанов турбины осуществляется её нагрузка. Генератор уже синхронизирован на самой ранней стадии пуска. Величина экономии времени от розжига горелок котла до синхронизации генератора по новой технологии пуска зависит от исходного теплового состояния турбины. Противоточный прогрев снижает общее время пуска и, следовательно, пусковые потери топлива, попутно повышая надёжность и моторесурс турбины. Пусковые потери могут быть дополнительно уменьшены утилизацией пусковой теплоты турбоустановки путем направления ее пусковых потоков в тепловую схему соседней турбоустановки.

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их техперевооружения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.
2. Леонков А.М., Балабанович В.К. Исследование части низкого давления теплофикационных турбин на режимах с минимальными пропусками пара конденсата// Известия вузов СССР. Энергетика. – 1982. – С.8-12.
3. Неуймин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкопотенциальной части теплофикационного оборудования. Автореф.дисс.к.т.н., Мн.,1995г., с.20.
4. Качан А.Д. Разработка методов анализа показателей топливоиспользования, оптимизация режимов и технологических схем ТЭЦ с целью повышения их системной эффективности. Автореф. Диссер. д.т.н., М.,1992 г., с.40.

УДК 621.65.03

**ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО
НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Мартыненко А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

В настоящее время для откачки воды из карьера установлено 12 насосов типа ЦН-1000-180-3. Согласно характеристик насоса мощность на валу для перекачки воды составляет 566 кВт·ч/тыс.м³, а теоретическая норма расхода электроэнергии с учетом КПД двигателя составляет 590 кВт·ч/тыс.м³. Средний фактический удельный расход электроэнергии на перекачку воды за 2019 год составил 733 кВт·ч/тыс.м³.

Различие между расчетной нормой и фактическим удельным расходом объясняется двумя факторами: отсутствие автоматизированного регулирования производительности насосов; физический износ.

Предлагается заменить существующие насосы на энергоэффективные. За аналог энергоэффективного оборудования принимаются насосы компании Wilo. Технические характеристики приведены на рисунке 1. Оборудование для замены подбирается и рассчитывается под существующие показатели работы. При закупке нового насосного оборудования следует учитывать фактор увеличения требуемого напора, связанный с углублением разработки карьера. Автоматизация работы насосов потребует значительных капитальных затрат по причине использования высоковольтного двигателя. Низковольтный двигатель использовать невозможно по причине большой мощности.

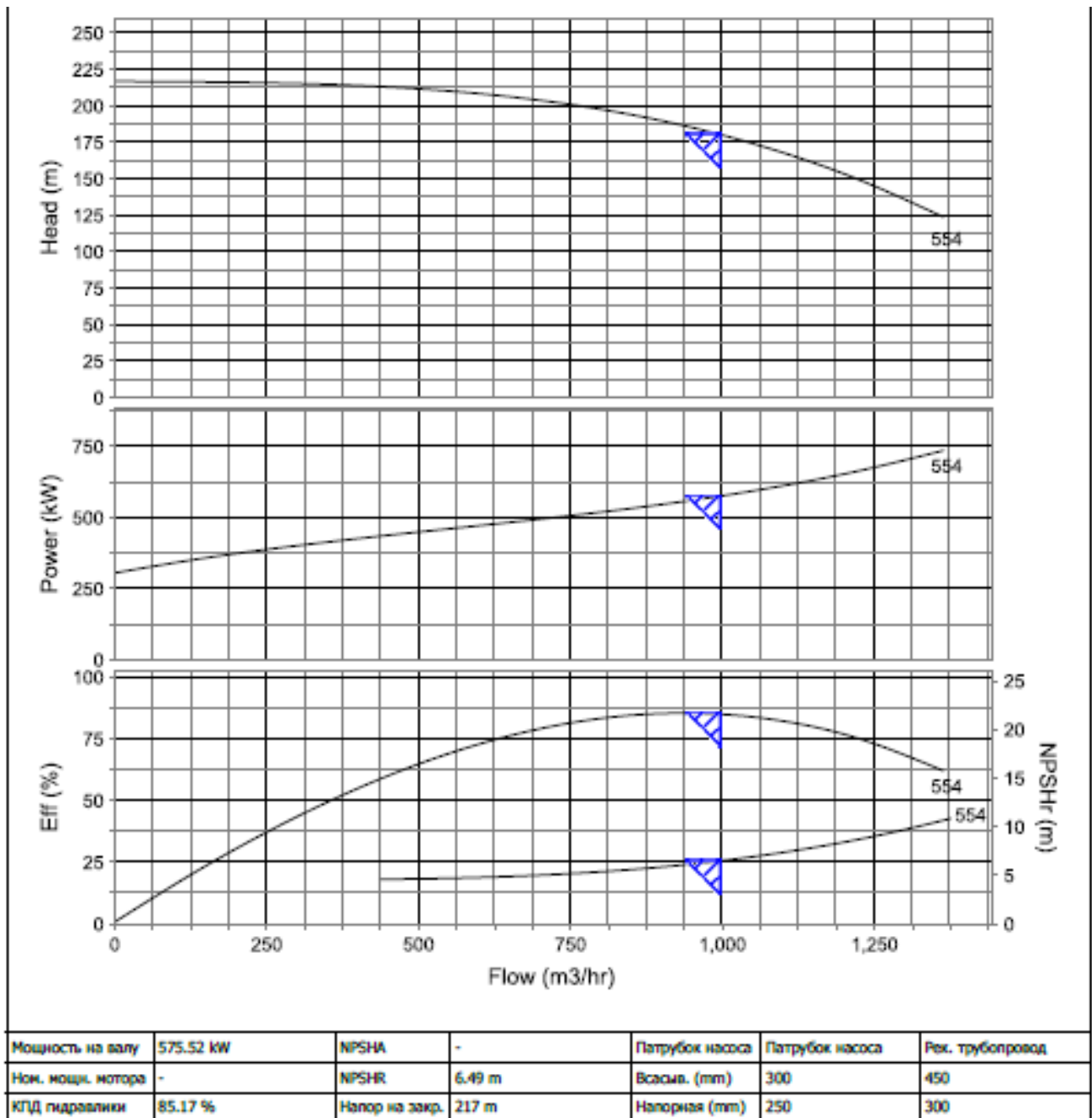


Рисунок 1 – Технические характеристики насоса 250-300-GST

Норма расхода электроэнергии определяется по кривой, описывающей потребляемую на валу мощность (рисунок 6.3 – 575,52 кВт/тыс. м³) исходя из производительности 1000 м³/ч и напора 200 м вод. ст. (рабочая точка). КПД электродвигателя составляет 94,7 % исходя из паспортных данных электродвигателя, приведенных на рисунке 2

№	Параметры асинхронного двигателя	Данные
1	Тип двигателя:	ДА304-450Х-4МВ1
2	Номинальная мощность, кВт:	630
3	Частота сети, Гц:	50
4	Синхронная скорость вращения, об/мин:	1500
5	Диапазон регулирования, об/мин:	
6	Номинальное напряжение, В:	6000
7	Номинальный ток, А:	74
8	Кратность пускового тока, $I_k/I_{ном}$:	7
9	Кратность максимального момента $M_{max}/M_{ном}$:	2,5
10	КПД, %:	94,7
11	Фактор мощности:	0,87
12	Климатическое исполнение:	У1 (-45; +40)
13	Режим работы:	S1
14	Класс изоляции:	F (В)
15	Степень защиты двигателя, IP:	IP54
16	Способ охлаждения:	IC01A61
17	Монтажное исполнение:	IM1001
18	Соединение с механизмом:	Муфта
19	Тип подшипников:	Качения, ZVL или ZKL
Комплектация		
1	Исполнение на напряжение 380, 660, 690 В:	Опционально
2	Датчик контроля температуры подш. узлов:	TSM50M
3	Датчик контроля температуры обмотки статора:	TSM50M
4	Места для установки датчиков вибрации:	Опционально
5	Подшипники SKF:	Опционально
6	Отдельная коробка КИП для датчиков:	Опционально
7	Вертикальное исполнение 3011:	Опционально
8	Исполнение с медным ротором - М:	Опционально
9	Антиконденсатный обогрев:	Опционально

Рисунок 2 – Паспортные данные электродвигателя насоса 250-300-GST

Экономия электроэнергии за счет применения нового насосного оборудования составит:

$$\Delta W = (733 - (575,52 \cdot 94,7\% \cdot 10^2)) \cdot 29,4 \cdot 10^3 = 3684 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч.}$$

Экономия топлива при отпуске электроэнергии, при работе более энергоэкономичных насосов, B , т у.т., определяется по формуле:

$$B = \Delta W \cdot (1 + k_{ном}/100) \cdot b_{ээ} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где $k_{ном}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях, %;
 $b_{ээ}$ – удельный расход топлива на отпуск электрической энергии, принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС), кг у.т./тыс. кВт·ч.

$$B = 3684 \cdot (1 + 7,69/100) \cdot 287,1 \cdot 10^{-3} = 1139 \text{ т у.т.}$$

Срок окупаемости мероприятия, $Cr_{ок}$, лет, определяем по формуле:

$$Cr_{ок} = K / (\Delta B \cdot C_{топл} \cdot C_{\$}), \quad (2)$$

где K – капиталовложения в мероприятие, руб.;
 ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;
 $C_{\$}$ – расчётная стоимость 1 т у.т, долл. США;

Ц\$ – курс белорусского рубля по отношению к доллару США, руб./долл. США.

Капиталовложения, K , тыс. руб., определяются по формуле

$$K = C_{об} + C_{пр} + C_{смр} + C_{пн} \quad (3)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования, тыс.руб.,

$C_{пр}$ – стоимость проектных работ, тыс.руб., определяется по формуле

$$C_{пр} = 0,1 \cdot C_{смр} \quad (4)$$

где $C_{смр}$ – стоимость строительно-монтажных работ, тыс.руб., определяется по формуле:

$$C_{смр} = (0,25 - 0,3) \cdot C_{об} \quad (5)$$

где $C_{пн}$ – стоимость пуско-наладочных работ, тыс.руб., определяется по формуле

$$C_{пн} = (0,03 - 0,05) \cdot C_{об}. \quad (6)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования, тыс.руб.

Исходя из следующих данных: меняем 6 насосов стоимостью по 60 тыс. евро, получаем срок окупаемости:

$$Срок = (6 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 2,9) / (1139 \cdot 210 \cdot 2,6) = 1,7 \text{ года}$$

Литература

1. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь. Минск, 2017.

УДК 620.9.001.12/.18

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Плавский С. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т. А.

Разработка и реализация стратегии организационной реконфигурации цифровой теплоэнергетической суперсистемы для упорядочения процессов обеспечения структурированных технологических зон теплом является основой создания координированной системы оптимизации тарифно-ценовой нагрузки на потребителей тепла и электроэнергии в экономике Беларуси. Внедрение в отрасли механизма контроля процессов предоставления теплоэнергетических услуг на основе перехода к системе Единых теплоснабжающих организаций (ЕТО) и обеспечения окупаемости инвестиций ценового тренда на рынке тепла с возможностью перевода ведомственной отчетности и аналитики на общую нормативную правовую основу позволяет регулировать работу теплоэнергетики как подсистемы ТЭК с общей информационно-технологической платформой. Предлагается разработать методологию построения математических оценок показателей надежности оказываемых теплоэнергетических услуг в виде аналитических зависимостей и имитационных моделей с учетом комплексного характера работы сетей передачи электроэнергии и транспортировки тепла и информационных систем, обеспечивающих обработку, хранение и распространение цифровых данных и документов.

Ключевыми действиями являются: разработка методологии построения математических оценок показателей надежности оказываемых теплоэнергетических услуг в виде аналитических зависимостей и имитационных моделей; цифровых методов обнаружения опасных воздействий; алгоритмов сохранения информации в присутствии естественных и искусственных помех; цифровых методов оптимизации, модернизации и трансформации производственных цепочек и процессов, моделей управления и процедур планирования для нейтрализации угроз надежности оказываемых теплоэнергетических услуг. Результатом должно быть создание компьютерной информационной системы моделирования воздействий на теплосетевое хозяйство.



Рисунок 1 – Цифровая трансформация

Весь мир переходит на цифровизацию общества и экономики. Беларусь не отстает в этом процессе, выбирая стратегию совместных действий со своими партнерами. Цифровая трансформация белорусского ТЭК позволит не только обеспечить повышение надежности работы его отраслей, но и даст импульс для масштабных технологических прорывов в смежных сферах. Таким образом цифровая трансформация – ключевое условие для повышения конкурентоспособности российской экономики на глобальном уровне.

Литература

1. Teploenergetika i tsentralizovannoe teplosnabzhenie Rossii v 2015 - 016 gody. Informatsionno-analiticheskii doklad. / Rossiiskoe energeticheskoe agentstvo [Elektronnyi resurs] // <https://minenergo.gov.ru/node/10850> (Data obrashcheniya: 12.02.2020).
2. Ispolatov S. Mezhdru TETs i PGU [Elektronnyi resurs] // <https://peretok.ru/articles/strategy/20772> (Data obrashcheniya: 12.02.2020).

УДК 621.57

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КОТЕЛЬНЫХ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ.

Василевский И.В., Яцухно Я.С.

Научные руководители – д.т.н., профессор Романюк В.Н.,
старший преподаватель Петровская Т. А.

Повышение эффективности использования первичных энергоресурсов является общей актуальной задачей большинства стран, поскольку дальнейшее развитие энергообеспечения потребителей традиционным экстенсивным путем, в основе которого лежит наращивание добычи первичных энергоресурсов, наталкивается на ограничения экономического, экологического и технического характера. [1,2].

Для повышения эффективности котельных многие производители выпускают различные виды оборудования, к которым прежде всего относятся абсорбционные тепловые насосы (далее АБТН) и контактные газовоздушные теплообменники. Те и другие известны давно, но при дешевом топливе использование таких теплообменников было не рентабельно.

В связи с чем, в данном докладе рассматривается устройство и принципиальная схема АБТН, а также варианты их использования на котельных для утилизации теплоты охлаждения дымовых газов с температурой до 40⁰С.

ТНУ – устройство непрерывного действия действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации данного противоестественного перехода тепловой энергии от холодного источника к горячему требуется компенсация в виде затрат энергии, см. рисунок 1.

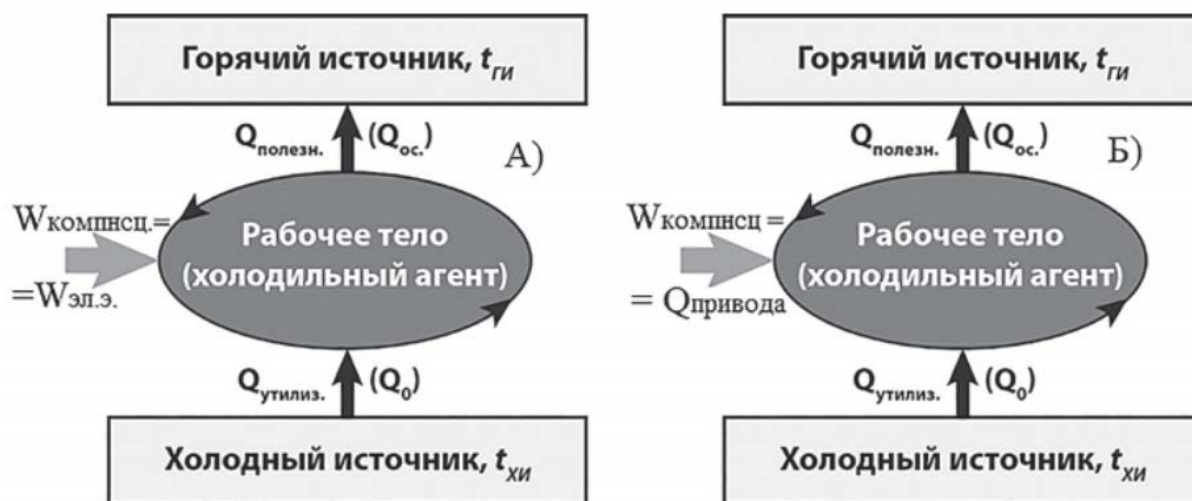


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТНУ

Простейшая принципиальная схема АБТН включает в себя пять теплообменников, размещенных в двух корпусах, объединенных в устройстве заводской сборки и полной готовности (чиллер), приведена на рисунке 2 [3].

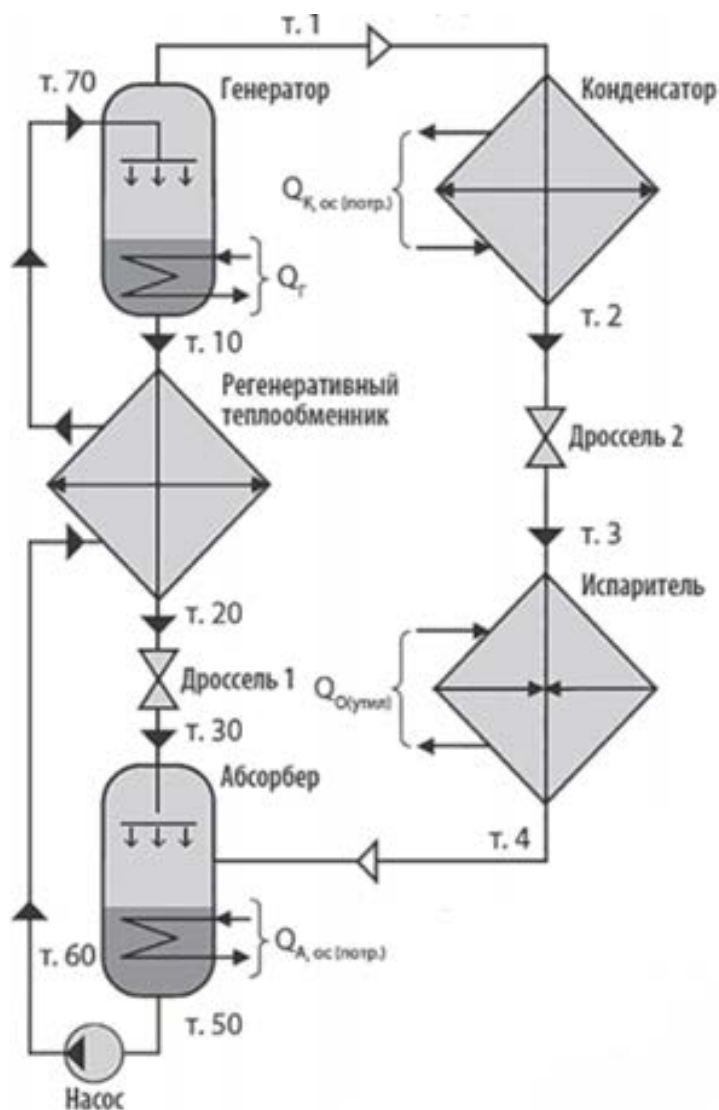


Рисунок 2 – Принципиальная схема простейшей АБТН

Три теплообменника (генератор, конденсатор и регенеративный теплообменник) работают при более высоком давлении (до 150 кПа) и их внутреннее назначение – получить из раствора практически в чистом виде легкокипящую среду – воду. Два других (испаритель и абсорбер) работают под вакуумом при разрежении менее 1 кПа, и их задача – отвод тепловой энергии от низкотемпературного теплового источника (температура до 45 °С), за счет которой вода из конденсатора превращается в пар с температурой около 2°С, который абсорбируется в компонент жидкого раствора, имеющего температуру 100°С.

В ходе описанных превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая в процессе теплопередачи идет на нагрев сетевой воды. Для привода АБТН используется тепловая энергия различных теплоносителей: влажный пар давлением до 500 кПа, вода с температурами на выходе АБТН не менее 120°С, выхлопные газы с температурой не ниже 300°С, наконец, природный газ, который сжигается в камере сгорания АБТН и который можно использовать как пиковый источник.

В генераторе в ходе кипения раствора образуется практически чистый пар низкокипящего компонента – воды, а конденсат, который образуется из пара раствора, поступает в испаритель, где поддерживается давление, обеспечивающее кипение воды при постоянной температуре. Образующийся пар поступает в абсорбер и так как он имеет большую концентрацию по сравнению с той, что требуется по уравнению сорбции, то устанавливается более низкая концентрация воды в паре над раствором за счет абсорбции избытков воды паровой фазы, идет конденсация холодных паров за счет их поглощения более горячей жидкой фазой раствор.

Эффективность АБТН зависит от выбранного температурного диапазона, и чем он уже, тем выше энергетические показатели установки.

Повышение эффективности использования топлива на отопительных, производственных и производство-отопительных котельных достигается за счет использования теплоты глубокого охлаждения домовых газов путем установки «АБТН-КТО» для диапазона нагрузок от 3 Гкал/ч и больших для топлив стоимостью выше 135 долларов за т.у.т. при числе часов работы с номинальной мощностью котельной 8,5 тыс. часов. Чем выше тепловая нагрузка и число часов работы с номинальной мощностью, тем выше экономия условного топлива.

Развитие энергосбережения на котельных за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков охлаждения уходящих дымовых газов с помощью контактных теплообменников и абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов позволяет снизить расход топлива на величину до 12-15%.

Литература

1. Директива Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007. - №146. – 1/8668. Внесены изм. Указом Президента Республики Беларусь 26.01.2016 г. № 26 «О внесении изменений и дополнений в Директивы Президента Республики Беларусь № 3» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. -2016. -1/16252.
2. Михалевич, А. А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы угрозы [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf. – Дата доступа: 26.03.2010.
3. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат /В.Н. Романюк, А. А. Бобич, Д. Б. Муслина, и др. // Энергия и Менеджмент. – 2013. - №2(71). –С. 32-37.

УДК 621.57

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ
ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ВЭР) НА ТЭЦ**

Кузьмич М.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Для энергосистем с преобладающей комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии является актуальным повышение эффективности работы существующих теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), что достигается переводом их на парогазовую технологию (ПГУ-ТЭЦ). Наилучший эффект от перехода к парогазовой технологии осуществляется на ТЭЦ, и поэтому именно их в первую очередь необходимо модернизировать [2].

Техническое перевооружение ТЭЦ позволяет [2]:

1. Повысить КПД по отпуску электроэнергии на ПГУ-ТЭЦ;
2. Увеличить электрическую мощность ТЭЦ в 1,5–3 раза;
3. Обеспечить самую высокую термодинамическую и экономическую эффективность по сравнению с другими способами повышения эффективности электроэнергетики;
4. Повысить надёжность электроснабжения потребителей энергосистемы за счёт ликвидации дефицита мощности;
5. Обновить изношенное основное оборудование.

Большая часть природного газа в Республике Беларусь потребляется для выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, оборудование которых устарело и требует модернизации. В связи с дефицитом финансирования лучшим решением будет перевести действующие ТЭЦ на парогазовую технологию, но возникает проблема регулирования мощности генерации электроэнергии в объединенной энергетической системе (ОЭС) страны.

Следует рассмотреть применение абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН) на ТЭЦ, как потенциальное решение данной проблемы. Это позволит: снизить удельный расход топлива, обеспечить тепловую нагрузку без теплогенерирующих источников прямого сжигания и перебрасывать нагрузку на другие генерирующие мощности.

Абсорбционный тепловой насос — это устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного неестественного перехода тепловой энергии требуется на привод АБТН затратить тепловую энергию (ТЭ). Они могут использовать дешёвую тепловую энергию отборов паровых турбин, утилизационных котлов энергии выхлопных газов газовых двигателей внутреннего сгорания, вторичных энергоресурсов [3].

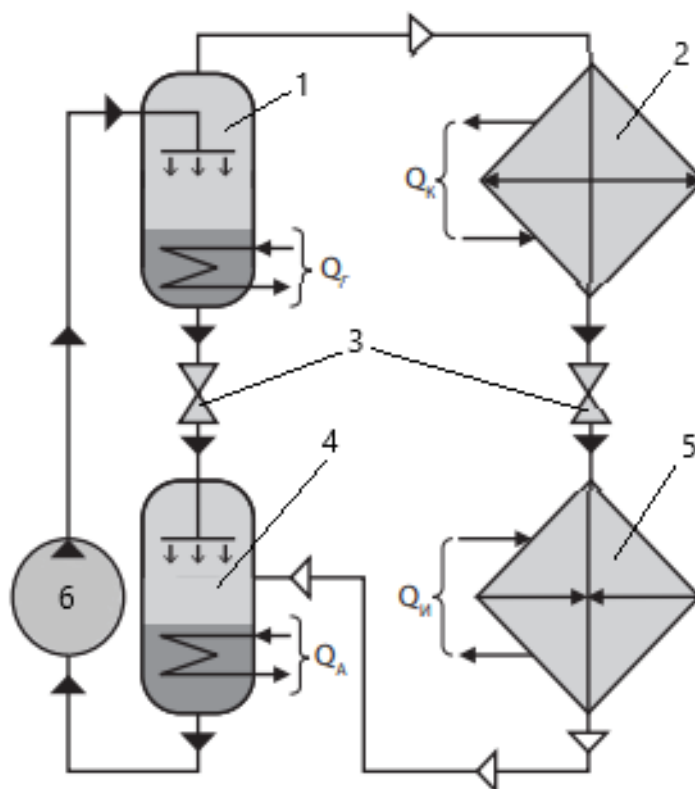


Рисунок 1 – Принципиальная схема простейшей абсорбционной установки обратного цикла
1. Генератор, 2. Конденсатор, 3. Дроссель, 4. Абсорбер, 5. Испаритель, 6. Насос

В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе. Два теплообменника (генератор и конденсатор) работают при более высоком давлении и их назначение — получить практически в чистом виде легкокипящую жидкость, в данном случае — воду. Два других теплообменника (испаритель и абсорбер) работают при пониженном давлении. Их задачей является отвод тепловой энергии от источника и превращение полученного пара в компонент жидкого раствора. В ходе описанных превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передаётся нагреваемому теплоносителю, например сетевой воде. Требуется лишь исключить переход температур хладагента через граничные значения, не допустимые для раствора воды в бромистом литии, как при хранении, так и в процессе эксплуатации [3].

Среди ТЭЦ ОЭС страны доминируют станции с высокими начальными параметрами пара. Особенностью большинства ТЭЦ является наличие низкотемпературных тепловых потоков, связанных с охлаждением генератора, систем смазки и отводом теплоты от конденсатора. Эти потоки сбрасываются в окружающую среду, так как их температура низка: на уровне 20–30 °С [5]. АБТН позволяет использовать их с выгодой.

Данные тепловые потоки направляются в АБТН с циркуляционной водой, в котором она охлаждается. Для привода АБТН используется теплота процесса конденсации пара, потребность в которой определяется отопительным коэффициентом АБТН. Сетевой воде передаётся поток тепловой энергии. [3].

Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже диапазон, тем выше энергетические показатели установки. Кроме этого, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН.

В результате использования АБТН при сохранении тепловой нагрузки ТЭЦ перераспределяется генерация электроэнергии между источниками системы и уменьшается генерация на ТЭЦ. Это обусловлено уменьшением нагрузки на теплофикационный отбор и снижением мощности генерации, возрастанием нагрузки регенеративного отбора, требуемую для привода АБТН, что увеличивает мощность генерации. А так же, при сохранении отпускаемой тепловой энергии снижается годовой расход топлива ТЭЦ [3].

Литература

1. Ковалев, Д.В. Перспективные режимы работы генерирующего оборудования в составе белорусской энергосистемы после 2020 года / Д.В. Ковалев // Энергетическая стратегия. — 2013. — № 4(40). — С. 20–23.
2. Попырин, Л.С. Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок / Л.С. Попырин, М.Д. Дильман // Теплоэнергетика. — 2006. — № 2. — С. 34–39.
3. 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. — 2013. — № 1. — С. 14–19.
4. Романюк, В. Н. К вопросу о развитии систем теплоснабжения в Беларуси. Взгляд в ближайшее будущее и обозримую перспективу / В.Н. Романюк, Б.М. Хрусталёв, Т.В. Бубырь // Энергия и Менеджмент. — 2014. — № 4–5. — С. 2–7.
5. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы на ТЭЦ Белорусской ОЭС на примере Мозырской ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и Менеджмент. — 2015. — № 1. — С. 13–20.

УДК 621.22

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Коржаченко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Гидравлическое испытание - один из наиболее часто используемых видов неразрушающего контроля, проводящийся с целью проверки прочности и плотности сосудов, трубопроводов, теплообменников, насосов и другого оборудования, работающего под давлением, их деталей и сборочных единиц. Также гидравлическим испытаниям могут подвергаться схемы тепломеханического оборудования в сборе и даже целые тепловые сети. По принятой в большинстве стран практике, всё оборудование, работающее под давлением, подвергают гидравлическим испытаниям:

- после изготовления предприятием-изготовителем оборудования или элементов трубопроводов, поставляемых на монтаж;
- после монтажа оборудования и трубопроводов;
- в процессе эксплуатации оборудования и трубопроводов, нагружаемых давлением воды, пара или пароводяной смеси.

Гидравлическое испытание — необходимая процедура, свидетельствующая о надёжности оборудования и трубопроводов, работающих под давлением, в течение всего срока их службы, что крайне важно, учитывая серьёзную опасность для жизни и здоровья людей в случае их неисправностей и аварий.

Давление проведения гидравлических испытаний называется поверочным, и оно превышает рабочее обычно в 1,25, 1,5 или в $5/3$ раза. После производства и при периодической проверке сосудов внутреннего давления с целью надёжности их нагружают поверочным давлением с определением степени изменения объёмных характеристик ОРБ.

После объявления о проведении гидравлических испытаний, в испытуемом оборудовании, трубопроводе или системе (контуре) создаётся пробное давление (во избежание гидроударов и внезапных аварийных ситуаций это производится медленно и плавно), превышающее рабочее на определяемую по специальным формулам величину, чаще всего на 25 %. При этом тщательно контролируют рост давления по двум независимым поверенным манометрам или каналам измерений, на этом этапе допускается колебание давления вследствие изменения температуры жидкости.

В процессе набора давления в обязательном порядке должны быть приняты меры для исключения скопления газовых пузырей в полостях, заполненных жидкостью. В течение так называемого времени выдержки, оборудование находится под повышенным давлением, которое не должно падать вследствие не плотности испытуемого оборудования, что также внимательно отслеживается. После чего давление снижается до обоснованного расчетом на прочность значения, но не менее рабочего давления. На протяжении этих этапов персонал должен находиться в безопасном месте, нахождение рядом с испытуемым оборудованием строгойше запрещено. После снижения давления персонал проводит визуальный осмотр оборудования и трубопроводов в доступных

местах в течение времени, необходимого для осмотра. В комбинированных сосудах с двумя и более рабочими полостями, рассчитанными на разные давления (например, в теплообменниках), гидравлическому испытанию должна подвергаться каждая полость.

Далее оцениваются результаты, оборудование и трубопроводы считаются выдержавшими гидравлические испытания, если в процессе испытаний и при осмотре не обнаружено течей жидкости и разрывов металла, в процессе выдержки падение давления не выходило за пределы, объясняемые колебаниями давления вследствие изменения температуры жидкости, а после испытаний не выявлено видимых остаточных деформаций.

Литература

1. Гидравлические испытания труб, И. Н. Бирилло, Ю. А. Теплинский, И. Ю. Быков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://readrate.com/rus/books/gidravlicheskie-ispytaniya-trub>.
2. УДК 523(07) // Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bsatu.by/sites/default/files/field/publikatsiya_file/gidravlika.pdf. – Дата доступа: 17.07.2020

УДК 621.311

ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Куценко П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Тепловая электрическая станция ОАО «Беларуськалий» эксплуатируется с 1962 года и предназначена для обеспечения паром (0.5 МПа) технологического процесса обогатительной фабрики, завода железобетонных изделий, а также для отопления и горячего водоснабжения.



Рисунок 1 – Тепловая электрическая станция

Установлено 5 паровых котлов ГМ-50-1, два водогрейных ПТВМ-100 и один водогрейный КВГМ-100, две паровых турбины ПР-6-35/5/1,2 и одна паровая турбина типа ПР-6-35/10/5, имеющие теплофикационные и производственные отборы, 2 блока ГТУ марки SGT-300 фирмы «Siemens» мощностью 7,64 МВт каждый.

До 1993 года котлоагрегаты работали на жидком топливе-мазуте. В 1993 произведён перевод ТЭС на газообразное топливо. Водогрейные котлы работают только в течении отопительного сезона. Паровые котлы работают в течении года покрывают технологическую нагрузку, нагрузку горячего водоснабжения и расходы пара на собственные нужды ТЭС и мазутного хозяйства.

Для приготовления химочищенной воды применяется схема Н-Накатионирования.

Дымовая труба (высотой 100 м) является общей для энергетических и водогрейных котлов.



Рисунок 2 – Суточная динамика потребления природного газа топливопотребляющим оборудованием ТЭС в 2019г.

Среднесуточное потребление газа ТЭС в 2019 г. имеет сезонный характер и соответствует режиму эксплуатации обследуемого объекта. Провалы в потреблении газа характеризуют периоды снижения отпуска пара вследствие снижения выпуска продукции СОФ 1РУ, а также остановов на профилактику и ремонт основного технологического оборудования ТЭС. Снижение потребления газа в межотопительный период обусловлено отсутствием отопительной нагрузки.

УДК 697.34

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Лагойко А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Тепловая сеть – система трубопроводов для передачи и распределения теплоносителя. Разделяют на магистральные и распределительные теплосети. Также по способу прокладки они делятся на подземные и надземные. В городах и населенных пунктах Республики Беларусь большое распространение получила подземная прокладка трубопроводов в каналах и коллекторах (– это прокладывание трубопровода непосредственно с другими коммуникациями) и бесканальная прокладка, то есть в самом грунте. Надземная прокладка выполняется лишь на территориях производств и за чертой города. Для прокладки тепловых сетей применяют, в основном, стальные трубы различных диаметров: от 50 мм (подводятся к отдельным зданиям) до 1400 мм (магистральные).

Теплоснабжение – совокупность технических устройств, агрегатов и подсистем, обеспечивающих приготовление теплоносителя, его транспортировку и распределение в соответствии со спросом на теплоту по отдельным потребителям.

В Республике Беларусь существует система централизованного теплоснабжения. Она непосредственно состоит из источника тепла, тепловой сети и теплопотребляющих установок, подключенных к сети посредством тепловых пунктов.

Источниками теплоты при таком теплоснабжении являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые реализуют комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, котельные установки. Также могут использоваться устройства для утилизации тепловых отходов промышленности и установки, которые применяют тепло от геотермальных источников.

Тепловые потребители в Республики Беларусь зачастую связаны с источником теплоты посредством теплового пункта. Он предназначен для преобразования теплоносителя, его регулировки и контроля его параметров, вдобавок в тепловом пункте происходит регистрация расходов тепла и теплоносителя.

Как правило, тепловой пункт имеет пластинчатый теплообменный аппарат, комплекс насосов и датчиков в качестве основного оборудования, грязевик и запорную арматуру в качестве вспомогательного. К тому же в тепловых пунктах в обязательном порядке должны устанавливаться автоматические регуляторы, противоударные и отборные устройства, для определения температуры, давления, расхода теплоносителя.

Также в Республике Беларусь производится автоматизация систем теплоснабжения. Она представляет собой применение совокупности автоматических устройств для управления технологическими процессами в системах теплоснабжения. Автоматизация производит корректировку

параметров, защиту и остановку оборудования, наблюдение и измерение параметров, а также подсчет расхода отпускаемых и потребляемых ресурсов.

Притом тепловые сети должны проводить планово-предупредительные ремонты (ППР) – это совокупность организационных и технических мероприятий по наблюдению, эксплуатации и ремонту оборудования, направленных на предупреждение износа деталей, узлов и механизмов.



Рисунок 1 – Планово-предупредительные работы

Сущность этих ремонтов состоит в том, что производятся профилактические контроли и плановые ремонты оборудования, которое проработало определенное количество времени. Продолжительность и частота таких мероприятий зависит от конструктивных и ремонтных особенностей энергооборудования и состояния его эксплуатации.

Основные виды планово-предупредительных ремонтов в тепловых сетях:

- Текущий ремонт оборудования подразумевает реализацию работ по выборочной замене быстроизнашивающихся деталей или узлов, очистке оборудования, промывке и смене масла в системах смазки, осмотре и замене испортившихся крепежных механизмов, проверке на герметичность и прочность тепловых сетей.
- Капитальный ремонт, в большинстве случаев, состоит из полной остановки и разборки оборудования, промывки оборудования и ремонта или замены основных деталей.

Таким образом, мы получаем, что приведенные выше мероприятия, проводимые в системах теплоснабжения Республики Беларусь, приводят к повышению срока службы оборудования, его исправности и безопасности, за счет автоматизации технологического процесса, и, как следствие, снижению затрат, которые могут произойти, если оборудование выйдет из строя.

Литература

1. Типовая инструкция по эксплуатации тепловых сетей.
2. ТКП 458-2012 (02230) Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей.
3. Планово-предупредительные ремонты // Neftegaz.ru / 2020 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/remont/141440-planovo-predupreditelnyu-remont-ppr/#:~:text>. – Дата доступа: 15.07.2020
4. Сети теплоснабжения. Тепловые сети // Инженерные системы – проектирование, монтаж, сервис [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://petro-eng.ru/korporativ/seti_teplo.html. – Дата доступа: 20.09.2020
5. Тепловая сеть // Академик [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/139062/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F>– Дата доступа: 20.09.2020

УДК 621.54

**СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ РАСЧЕТ**

Подосиновик А.В., Завадский В.С., Мяслик А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Практически на любом промышленном предприятии в качестве газообразного энергоносителя используется сжатый воздух. На производство конечного технологического продукта доля расхода первичной для его производства на различные нужды энергии колеблется от 5% до 30 % от общего энергопотребления. Поэтому от надежности систем воздухообеспечения во многом зависит надежность, а нередко и безопасность проводимого технологического процесса. Прекращение подачи сжатого воздуха на предприятии приводит, как правило, к крупной аварии. В силу своей универсальности пневмосистемы предприятий претерпевают значительные изменения, как по режимам потребления сжатого воздуха, так и требованиям к его подготовке. В связи с этим возникает необходимость периодической корректировки отдельных элементов, а в ряде случаев и модернизации всей системы воздухообеспечения промышленного объекта.

Эксплуатацию и совершенствование этих систем ведут службы Главного энергетика предприятия, комплектуемые выпускниками теплоэнергетического профиля и требующие определенной квалификационной подготовки. Решение поставленных задач весьма затруднено практически полным отсутствием соответствующей справочной литературы.

Системы воздухообеспечения промышленных предприятий предназначены для централизованного обеспечения разнообразных потребителей сжатым воздухом с заданными параметрами по количественным (расход) и качественным (давление, температура, влажность, чистота и т.д.) показателям в соответствии с заданным графиком потребления. Для обеспечения индивидуального технологического режима единичных крупных потребителей сжатого воздуха создают блочную компоновку компрессор - технологический агрегат. в этом случае компрессор располагается у потребителя либо в непосредственной близости от объекта устанавливается компрессорная станция для индивидуального регулирования режимов потребления энергоносителя. Это относится прежде всего к предприятиям черной и цветной металлургии, а также химической промышленности, где сосредоточены наиболее крупные технологические установки, использующие сжатый воздух.

В системы воздухообеспечения входят компрессорные и воздухопроводные станции, коммуникации сжатого воздуха (трубопроводный и баллонный транспорт) и распределительные устройства потребителя. На компрессорных станциях устанавливаются устройства для забора и очистки воздуха от механических примесей, компрессоры для получения сжатого воздуха и вспомогательное оборудование для охлаждения, дополнительной осушки и очистки, выравнивания давления и аккумуляции энергоносителя.

В основном станции комплектуются поршневыми компрессорами (а в последнее время винтовыми) единичной производительностью до $1,7\text{ м}^3/\text{с}$ и широким диапазоном давления (нагнетания) от 0,2 до 40 МПа и более или центробежными с единичной производительностью от 2 до $110\text{ м}^3/\text{с}$ и более и с избыточным давлением от 0,35 до 1 МПа (иногда до 4 МПа).

Система воздухообеспечения является одним из самых энергоемких потребителей, а сжатый воздух - самый распространенный энергоноситель практически на любом промышленном предприятии. У потребителя сжатый воздух расходуется в основном на технологические нужды (интенсификация процессов горения, получение кислорода, выплавка чугуна и стали и т.д.) и на силовые процессы (привод многочисленных пневмоустройств и механизмов).

По объемам потребления сжатого воздуха лидируют предприятия черной и цветной металлургии, где крупными единичными потребителями являются: доменные и мартеновские печи, барабанные сушилки и т.д. Для производства 1 тонны чугуна, к примеру, расходуется $800\text{-}1000\text{ м}^3$ сжатого воздуха, а единичное потребление энергоносителя конвертером колеблется от 3 до $15\text{ м}^3/\text{с}$.

На предприятиях химической промышленности наиболее емким по потреблению сжатого воздуха является производство азотной кислоты (расход энергоносителя около 4000 м^3 на 1 тонну), серной кислоты, аммиачной селитры (расход энергоносителя до $140\text{ м}^3/\text{с}$ на одну установку).

Крупными потребителями сжатого воздуха являются воздухоразделительные установки, которые обслуживаются крупными турбокомпрессорами (производительностью до $70\text{ м}^3/\text{с}$), а затраты энергии на производство сжатого воздуха составляют от 70 до 90% всех энергозатрат в зависимости от типа установки.

В машиностроении, помимо крупных потребителей воздуха в литейных и кузнечных производствах (прессы, обдувочные машины, пескоструйные камеры, вибраторы и т.д.), значительно больше доля использования энергии сжатого воздуха для приводов различных механизмов: пневмомолотки, зажимные и прижимные устройства, окрасочные камеры, пневмодвигатели, пневмодрели и т.д. На машиностроительных заводах применяется, как правило, централизованное воздухообеспечение при значительной неравномерности использования воздуха различными мелкими потребителями.

К достаточно крупным потребителям сжатого воздуха относятся: горнодобывающая и угольная промышленность (буровые устройства, перфораторы, подъемники, системы вентиляции и кондиционирования воздуха); строительная промышленность (распыливание красителей, вибраторы, пневмомолотки и т.д.); нефтедобывающая отрасль.

Сжатый воздух достаточно широко также используется в энергетической промышленности, на транспорте, для нужд связи, автоматики и других отраслях.

2. Трубопроводы компрессорных станций

Трубопроводные коммуникации компрессорных станций - это воздухопроводы, водопроводы, маслопроводы и т.д.

Воздушные коммуникации, предназначенные для транспортирования энергоносителя от всасывающего устройства до потребителя, подразделяются на всасывающий, нагнетательный и магистральный воздухопроводы.

Всасывающий воздухопровод - это участок от воздушного фильтра до всасывающего патрубка компрессора. Для уменьшения потерь на всосе компрессора длина участка должна быть не более 10-15 м, число поворотов с радиусом равным трем диаметрам всасывающего воздухопровода минимально. Вблизи трассы не должно быть паропроводов, нагнетательных воздухопроводов и прочих мест выделения тепла. При расположении внутри зданий воздухопроводы теплоизолируются. Скорость воздуха во всасывающем воздухопроводе принимается 10-12 м/с.

Нагнетательный воздухопровод - от патрубка компрессора до фланца вспомогательного оборудования - по возможности должен быть коротким и прямым. Участок трубопровода между концевым воздухопроводом (или влагомаслоотделителем) и воздухоборником (или сборным коллектором) называется подающим. Сжатый воздух в трубопроводах данного типа имеет повышенную температуру, поэтому в целях безопасности работы обслуживающего персонала трубопроводы, как правило, подлежат теплоизоляции.

Внутри зданий воздухопроводы имеют верхнее (по строительным конструкциям) и нижнее (в каналах и траншеях) размещение. Магистральный воздухопровод начинается от сборного коллектора или воздухоборника до потребителя сжатого воздуха. Ряд магистральных воздухопроводов образуют трассу и сеть сжатого воздуха. Кроме того, имеются вспомогательные воздухопроводы: для продувки сосудов, отвода энергоносителя из предохранительных устройств и другие.

3. Расчет магистральных газопроводов

Порядок расчета газопроводов

Задачей аэродинамического расчета газо- и воздухопроводов является определение гидравлических сопротивлений и потерь давлений (напора) при транспортировке газообразного энергоносителя. При необходимости определяются также диаметры газопроводов. Расчет сети газопроводов и каналов производится в следующем порядке. Составляется подробно в изометрии имеющаяся или предполагаемая схема газопроводной сети (системы каналов исследуемого объекта) для предприятия с нанесением длин участков, необходимой запорной арматуры и количества протекающего энергоносителя.

Выбирается расчетная магистраль воздухопровода, имеющая наибольшее протяжение от источника генерации и трансформации энергоносителя до наиболее удаленного потребителя и, как правило, характеризуемая наибольшими гидравлическими потерями.

По принятой скорости потока и по расходу энергоносителя на каждом участке определяется диаметр газопровода. Найденный расчетный диаметр округляется до ближайшего большего стандартного диаметра. Определяются эквивалентные и приведенные длины участков. Находятся гидравлические потери энергии по участкам и в целом по всей магистрали. Если эти потери от

промышленной энергетической станции (компрессорной, кислородной станции и т.д.) до самых отдаленных потребителей превышают 49 кПа (0,5 кгс/с² или 5 , 10 % от номинального давления у потребителя), то пневмосеть следует пересчитать, задаваясь новыми значениями скорости энергоносителя.

План:

- Расчетные диаметры газопроводов
- Определение и выбор расчетных коэффициентов
- Определение потерь напора и давления на трение
- Определение давления на промышленной энергетической станции
- Расчет и выбор основного оборудования и показателей компрессорной станции
- Определение нагрузок на компрессорную станцию
- Расчет и выбор вспомогательного оборудования компрессорных станций
- Выбор воздушных фильтров
- Выбор влагомаслоотделителей
- Выбор воздухоотделителей
- Выбор воздухоохладителей.
-

Литература

1. Расчет системы воздухообеспечения промышленного объекта курсовая 2011 по технологии , Дипломная из Материаловедение и технологии материалов – Братский Государственный Университет[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.docsity.com/ru/raschet-sistemy-vozduhosnabzheniya-promyshlennogo-obekta/1805764/>- Дата доступа: 29.09.2020

УДК 621.57

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ
КОТЕЛЬНОЙ С УСТАНОВКОЙ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Савич Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

В статье рассматривается вариант модернизации производственно-отопительной котельной с применением тепловых насосов. Рассмотрено описание установки, предпосылки и условия её применения, экономическая выгода.

Модернизация котельных может проводиться по следующим причинам: устаревшее или износившееся оборудование, увеличение себестоимости вырабатываемого тепла или невозможность постройки новой котельной. В статье остановимся на вопросе энергосбережения.

Повышение эффективности использования первичных энергоресурсов является общей актуальной задачей большинства стран, так как дальнейшее развитие энергообеспечения потребителей традиционным экстенсивным путем, в основе которого лежит наращивание добычи первичных энергоресурсов, наталкивается на ограничения экономического, экологического и технического характера. Для увеличения эффективности котельной используется необходимое оборудование, например, тепловые насосные установки (ТНУ).

ТНУ – устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного противоестественного перехода тепловой энергии от холодного источника к горячему источнику требуется компенсация в виде затрат энергии, электрической или тепловой. Рассмотрим наиболее привлекательный вид ТНУ - абсорбционную тепловую установку (АБТН).

АБТН – высокоэффективное энергосберегающее оборудование для теплоснабжения различных объектов и предназначены для нагрева воды до 50 – 90°C с использованием в качестве источника энергии теплоты греющего пара с давлением до 0,75 МПа, а также низкопотенциальной сбросной или природной теплоты от различных источников с температурой 20 - 40°C. АБТН имеют исключительные потребительские свойства: высокую эффективность, экологическую чистоту, низкий уровень шума при работе, простоту в обслуживании, длительный срок службы и полную автоматизацию. Также преимуществом является то, что холодильный агент (водный раствор LiBr) не требует ни какого-либо учета в государственных институтах, связанных с охраной окружающей среды и, при квалифицированной эксплуатации, ни замены в течение всего срока службы АБТН, составляющего 30 лет.

Принцип действия АБТН основан на способности раствора абсорбента поглощать водяные пары, имеющие более низкую температуру чем раствор. Хладагент вода кипит под вакуумом на трубном пучке испарителя за счет теплоты, отводимой от циркулирующей в трубках охлаждаемой среды (источника низкопотенциальной теплоты). Водяные пары поглощаются

раствором абсорбента на трубном пучке абсорбера с выделением теплоты, которая отводится циркулирующей в трубках нагреваемой водой. Разбавленный раствор из абсорбера откачивается в генератор, где на трубном пучке осуществляется регенерация (выпаривание) поглощенных в абсорбере водяных паров за счет теплоты греющего теплоносителя. Сконденсированные нагреваемой водой в конденсаторе водяные пары хладагента возвращаются в испаритель, а концентрированный раствор - в абсорбер. Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется, и чем этот диапазон уже, тем выше энергетические показатели установки.

Рассмотрим варианты применения АБТН вместе с контактным теплообменником для утилизации теплоты глубокого охлаждения дымовых газов котельной и последующим нагревом сетевой воды в АБТН. Для рассматриваемых схем следует, что повышение эффективности использования топлива на отопительных, производственных и производственно-отопительных котельных достигается за счет использования теплоты глубокого охлаждения дымовых газов путем установки комплекта «АБТН–КТО» для диапазона нагрузок от 3 Гкал/ч и больших для топлив стоимостью выше 135 долларов за тонну условного топлива при числе часов работы с номинальной мощностью котельной 8,5 тыс. часов.

При числе часов работы с номинальной мощностью 5,5 тыс. часов диапазон тепловых нагрузок должен быть 5,0 Гкал/ч и выше. Чем выше тепловая нагрузка и число часов работы с номинальной мощностью, тем выше экономия условного топлива на котельной. В случае производственно-отопительной котельной, где имеется возможность использовать АБТН с паровым приводом, объем инвестиций оказывается в 1,3–1,5 раза меньше и показатели окупаемости улучшаются.

В итоге можно констатировать, что развитие энергосбережения на котельных за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков охлаждения уходящих дымовых газов с помощью контактных теплообменников и абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов позволяет снизить расход топлива на величину до 12–15%. Также оказывается влияние на экономический показатель такой, как срок окупаемости, который получается сроком до 10 лет, что весьма приемлемо.

Литература

1. Романюк В.Н, Бобич А.А. Развитие энергосбережения на котельных за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков охлаждения уходящих дымовых газов [Текст] // Энергоэффективность. – 2020. – Август 2020. – С. 20-25.

УДК 621.182

**БЛОЧНО-МОДУЛЬНАЯ КОТЕЛЬНАЯ СТОЛБЦОВСКОГО ФИЛИАЛА
ОАО «ГОРОДЕЙСКИЙ САХАРНЫЙ КОМБИНАТ»**

Лось А.В., Щекало А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Блочно-модульная котельная предназначена для отопления, горячего водоснабжения и обеспечения паром технологических нужд производства филиала.



Рисунок 1 – Блочно-модульная котельная

Теплоносителем для технологии является пар давлением до 1,2 МПа, теплоносителем для системы отопления является горячая вода (до 95°C). Блочно-модульная котельная (далее - котельная) расположена по адресу: Минская область, Столбцовский район, г. Столбцы, ул. Гайдука, 20.

Здание котельной одноэтажное, отдельно стоящее, прямоугольной формы в плане, с размерами в осях в плане 10,5 м на 25,5 м, высота 1-1=5,0-5,6 м. Стены котельной выполнены из сэндвич-панелей с минераловатным утеплителем, покрытие односкатное, кровля выполнена из металлического профнастила по типу сэндвич с минераловатным утеплителем. В котельной имеются котельный зал и помещение для операторов. Помещение котельной имеет два входа-выхода. Дверь в котельную открывается наружу. На дверях котельной нанесены предупредительные надписи. Помещение котельной оборудовано естественным освещением через окна, имеющие остекление; рабочим освещением напряжением 220В.

Вентиляция котельной приточно-вытяжная с естественным побуждением. Приток воздуха осуществляется через две жалюзийные решетки 1100x2000 мм, вытяжка - через два дефлектора Ду800. Приборы отопления в котельной

отсутствуют. Система газоснабжения «Блочно-модульной котельной» Столбцовского филиала ОАО «ГСК» включает в себя:

- Наружный газопровод высокого давления II категории (до 0,6 МПа) общей протяженностью 48,4 м;
- Внутренние газопроводы высокого давления II категории (до 0,6 МПа) \varnothing 57 мм протяженностью 1, 8 м;
- ГРУ типа ГРПУ – 1В-2Н-ЭК с двумя нитками редуцирования с регулятором давления типа РДГ -50Н/25-01 (2 шт);
- Внутренние газопроводы среднего давления \varnothing 108 мм протяженностью 7,0 м \varnothing 57 мм протяженностью 8,0 м \varnothing 25 мм протяженностью 15,0 м.

В котельном зале на отметке +0,000 смонтированы:

- Два паровых котла VAPOPREX HVP 5000/12 с давлением пара более 0,07 МПа фирмы «FERROLI», работающие на природном газе (номинальная мощность теплоагрегата 3 852 кВт, номинальная производительность -3 467 кВт);
- Один водогрейный котел KB-Pw-1,0-95 с температурой нагрева воды не выше 115° С (с дымососом и вентилятором, работающий на твердом топливе, изготовитель РУН «Энергия», г. Гомель).



Рисунок 2 – Паровые котлы VAPOPREX HVP 5000/12

Таблица 1 – Сведения о паровых котлах и их технические параметры

1.	Тип котла	паровой котел	паровой котел
2.	модель	VAPOPREX HVP 5000/12	VAPOPREX HVP 5000/12
3.	изготовитель	«Ferrolli S.p.A» Италия	«Ferrolli S.p.A» Италия
4.	Заводской номер	зав. № 7088	зав. № 7089
5.	Год изготовления	2009	2009
6.	Расчетное давление пара в барабане, МПа	1,2	1,2
7.	Паропроизводительность котла, т/ч	5	5
8.	Вид топлива	Природный газ	Природный газ
9.	Регистрационный номер в ГПН	№ 25-21-0579	№ 25-21-0580
10.	Внутренний осмотр	05.06.2022	05.06.2022
11.	Гидравлическое испытание	05.06.2026	05.06.2026

Водогрейный котел KB-Pw-1,0-95 теплопроизводительностью 1,0 МВт используется в качестве аварийного котла для нужд отопления и горячего водоснабжения.

Одновременная работа паровых котлов VAPOPREX HVP 5000/12 на газообразном топливе и водогрейного котла KB-Pw-1,0-95 на дровах исключается.

Котлы эксплуатируются с постоянным присутствием обслуживающего персонала. Управление паровыми котлами осуществляется со шкафов управления, которые установлены на каждом котле. Продукты сгорания от паровых котлов отводятся в две индивидуальные дымовые трубы из нержавеющей стали \varnothing 500 мм Н=9,0 м, установленные снаружи котельной. Отвод дымовых газов от твердотопливного котла на дровах предусмотрен через дымовую трубу \varnothing 250 мм Н=12,0 м, установленную снаружи котельной.

УДК 621.1

**ХАРАКТЕРНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЭЦ И ОСНОВНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА ФИЛИАЛЕ «ПИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ» РУП
«БРЕСТЭНЕРГО»**

Рапута А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Режимы работы ТЭЦ и основного оборудования могут быть условно разделены на:

- отопительный период – в работе от трех до пяти паровых котлов, три турбоагрегата, обеспечивающие отпуск тепла с горячей водой от 30 до 115 Гкал/ч и отпуск технологического пара от 0,5 до 1 Гкал/ч;
- межотопительный период – в работе от двух до трех паровых котлов и один турбоагрегат, обеспечивающие отпуск тепла с горячей водой от 10 до 20 Гкал/ч и с паром до 1 Гкал/ч.

Для отопительного сезона характерными являются три режима работы основного оборудования:

- в работе два котла Е-10 с близкими к максимальным базовыми нагрузкам, два котла БКЗ-50 с суммарной тепловой нагрузкой от 67,5 до 81,5 МВт (от 58 до 70 Гкал/ч) и все три турбоагрегата с суммарной электрической нагрузкой от 14,5 до 17 МВт. Турбоагрегат Р-12 работает с близкой к номинальной нагрузке, ПР-6 – с нагрузкой от 1,5 до 3,0 МВт и ТГ-4 – с нагрузкой от 1,0 до 2,1 МВт;
- работают оба котла Е-10 с близкими к максимальным базовыми нагрузкам, один котёл БКЗ-50 и один котёл БКЗ-75 с суммарной тепловой нагрузкой от 75,5 до 93 МВт (от 65 до 80 Гкал/ч) и все три турбоагрегата с суммарной электрической нагрузкой от 15,5 до 19,5 МВт. Турбоагрегат Р-12 работает с близкой к номинальной нагрузке, ПР-6 – с нагрузкой от 2,0 до 4,4 МВт и ТГ-4 – с нагрузкой от 1,5 до 3,0 МВт;
- в работе два котла Е-10 с близкими к максимальным базовыми нагрузкам, два котла БКЗ-75 с суммарной тепловой нагрузкой от 67,5 до 99 МВт (от 70 до 85 Гкал/ч), три турбоагрегата с суммарной электрической нагрузкой от 16,5 до 20,5 МВт. Турбоагрегат Р-12 работает с близкой к номинальной нагрузке, ПР-6 – с нагрузкой от 2,3 до 4,9 МВт, ТГ-4 – с нагрузкой от 2,0 до 3,4 МВт.

В отопительный период среднеэксплуатационные температуры прямой и обратной сетевой воды находятся на уровне, соответственно, 65 °С и 45 °С при расходе прямой сетевой воды в пределах 2900 - 3200 т/ч и подпитке теплосети около 20 т/ч.

Для межотопительного периода, в течение которого часовой отпуск тепла с горячей водой, как правило, не превышает 84 ГДж (20 Гкал) и с технологическим паром сохраняется на уровне до 33,5 ГДж (8 Гкал), характерными считаются два режима работы основного оборудования:

- работает один котёл Е-10 с близкой к максимальной базовой нагрузкой,

один котёл БКЗ-50 с нагрузкой от 20 до 28 МВт (от 17 до 24 Гкал/ч) и турбоагрегат Р-12 с электрической нагрузкой от 3,6 до 5,4 МВт;

- в работе два котла Е-10 с близкими к максимальным базовыми нагрузками, один котёл БКЗ-50 с нагрузкой от 8,6 до 16,6 МВт (от 7,4 до 14,3 Гкал/ч) и турбоагрегат Р-12 с электрической нагрузкой от 2,8 до 4,6 МВт.
- Среднеэксплуатационные температуры прямой и обратной сетевой воды в межотопительный период составляют, соответственно, около 60 °С и 45 °С, расход прямой сетевой воды находится в пределах 1400 - 1600 т/ч, подпитка теплосети - около 12 т/ч.

УДК 658.26

**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОФИСНО-ГОСТИНИЧНОГО
КОМПЛЕКСА «ВИКТОРИЯ»**

Журавская К.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Теплоснабжения комплекса осуществляется от городских тепловых сетей теплоносителем с параметрами 150/70°C. Резервный источник – собственная котельная с параметрами отпускаемого теплоносителя 115/70°C. Параметры теплоносителя для системы радиаторного отопления 90/70°C, для напольного 50/40°C, 150/70°C – для системы теплоснабжения калориферов.

Общий ввод и учёт теплоносителя для офисно-гостиничного комплекса осуществляется в помещение индивидуального теплового пункта ИТП1. В помещении ИТП1 также осуществляется учёт тепла с помощью теплосчётчика ТЭМ-104-2 отдельно для гостиничного комплекса. Далее транзитные трубопроводы от ИТП1 к ИТП2 прокладываются по гаражу-стоянке.

В ИТП2 осуществляется приём теплоносителя на нужды отопления, теплоснабжения, горячего водоснабжения, приготовления воды для джакузи и автоматическое регулирование расхода тепла. Отдельный учёт тепла по потребителям в ИТП2 не предусматривается. Оборудование теплового пункта принято в блочном исполнении.

Системы отопления здания присоединяются к тепловым сетям по независимой схеме. Понижение параметров теплоносителя в системах отопления осуществляется с помощью пластинчатых теплообменников. Для систем радиаторного отопления приняты теплообменные аппараты со 100% резервированием. Системы отопления рассчитаны с учетом задания на проектирование и на обеспечение расчетных параметров внутреннего воздуха согласно СНиП. Запроектирована двухтрубная горизонтальная система отопления с поэтажной разводкой трубопроводов, и однострунная для отопления лестничных клеток. Прокладка поэтажных разводов систем отопления осуществляется в конструкции пола в защитном кожухе типа «пешель». Для отопления гостиницы и помещений предусмотрено водяное отопление с местными нагревательными приборами. В помещениях ресторанов, холле (кофе-пауза), лобби, а также в комнате отдыха с бассейном и гардеробных СПА-зоны запроектировано напольное отопление.

УДК 621.1

**АНАЛИЗ СХЕМЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ФИЛИАЛА РУП
«МОГИЛЕВЭНЕРГО» «БОБРУЙСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ»**

Чечуха В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Схема тепловых сетей предприятия «Бобруйские тепловые сети» двухтрубная, радиальная с двумя теплоисточниками БТЭЦ-1, БТЭЦ-2, с закольцовками, магистральных теплотрасс 16 шт. Теплоноситель: перегретая вода. Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе: 150 °С, в обратном: 70 °С при расчетной температуре наружного воздуха для города Бобруйска: -23 °С. Давление в подающем и обратном трубопроводах: 12 ата. Расчетное максимальное давление в приборах отопления потребителей: 6 ата.

С коллекторной БТЭЦ-2 имеется четыре вывода тепловых магистралей: ТМ-01, ТМ-02, ТМ-03 и ТМ-04. С выводов бойлерной установки БТЭЦ-1 имеется два вывода: подающий трубопровод $\phi 426$ мм и обратный трубопровод $\phi 530$ мм.

Транспорт тепла от централизованных источников тепла до потребителей осуществляется по магистральным и распределительным тепловым сетям. Теплоносителем для системы отопления, вентиляции и ГВС жилых и общественных зданий и промпредприятий является перегретая (горячая) вода.

Протяженность магистральных водяных тепловых сетей, находящихся на балансе филиала РУП «Могилевэнерго» Бобруйские тепловые сети, включая распределительные сети диаметром более 300 мм, в однострубно́м исчислении составляет 134,4 км. Из них подземно проложено 102 км сетей (в однострубно́м исчислении), в том числе бесканально, из ПИ-труб 43,7 км. Надземно проложены 28 км трубопроводов. Около 21 км сетей построены за последние 10 лет, а 42,9 км – находятся в эксплуатации более 25 лет.

Протяженность квартальных водяных тепловых сетей $\phi 300$ мм и менее в однострубно́м исчислении составляет 30,7 км. Из них подземно проложено 28,4 км сетей (в однострубно́м исчислении), в том числе бесканально, из ПИ-труб 21 км, надземно – 2,4 км (2,7 км трубопроводов находятся в эксплуатации более 20 лет).

Гидравлические режимы существующих тепловых сетей обеспечивают возможность присоединения потребителей по зависимой схеме.

БТЭЦ-2 и БТЭЦ-1 имеют между собой переемычку, обеспечивающую возможность передачи тепла из зоны одного источника в зону другого.

Система ГВС закрытая. Подпитка тепловых сетей осуществляется на источнике теплоснабжения.

Тепломагистраль ТМ-01 имеет протяженность 9,8 км с диаметром подающего трубопровода $\phi 800$ мм и двух обратных трубопроводов с $\phi 720$ мм. Для поддержания нормального гидравлического режима ТМ-01 в работе принимают участие подкачивающая насосная станция ПН-2 на подающем трубопроводе, с пятью насосами СЭ-1250-70 и ПН-1 на обратном трубопроводе с тремя насосами СЭ-1250-70.

ТМ-02: диаметром 2ДУ600 мм, протяженностью более 5 км берет начало от ТЭЦ-2 и соединяется в ТК-0129 с ТМ-01.

ТМ-04: 2ДУ700 мм, протяженность 2,3 км, снабжает потребителей микрорайонов №5 и №6.

ТМ-05: 2ДУ500 мм, протяженность около 2,2 км.

ТМ-06: 2ДУ500 мм, протяженность более 3 км. Для поддержания нормального гидравлического режима ТМ-06 в работе находится подкачивающая насосная станция ПН-3 с двумя насосами СЭ-1250-70.

ТМ-09: ф2ДУ400 мм, протяженностью около 2,2 км.

ТМ-10: ф2ДУ300 мм, протяженностью около 1,8 км.

ТМ-11: ф2ДУ400 мм, протяженностью около 1,8 км.

ТМ-12: ф2ДУ400 мм, протяженностью около 1,0 км.

ТМ-15: ф2ДУ300 мм, протяженностью около 2,0 км.

ТМ-17: ф2ДУ300 мм, протяженностью около 1,5 км.

ТМ-18: ф2ДУ500 мм, протяженностью около 1,4 км.

Две магистрали на ОАО «Белшина» 2ДУ600 мм, 2ДУ500 мм. От БТЭЦ-1 эксплуатируется ТМ-14 диаметром 2ДУ700 мм, которая расходится на ТМ-07 2ДУ400 мм, ТМ-08 2ДУ300 мм и ТМ-16 общей протяженностью 3,4 км.

Возрастная структура тепловых сетей по состоянию на 01.01.2020 представлена на рисунке.

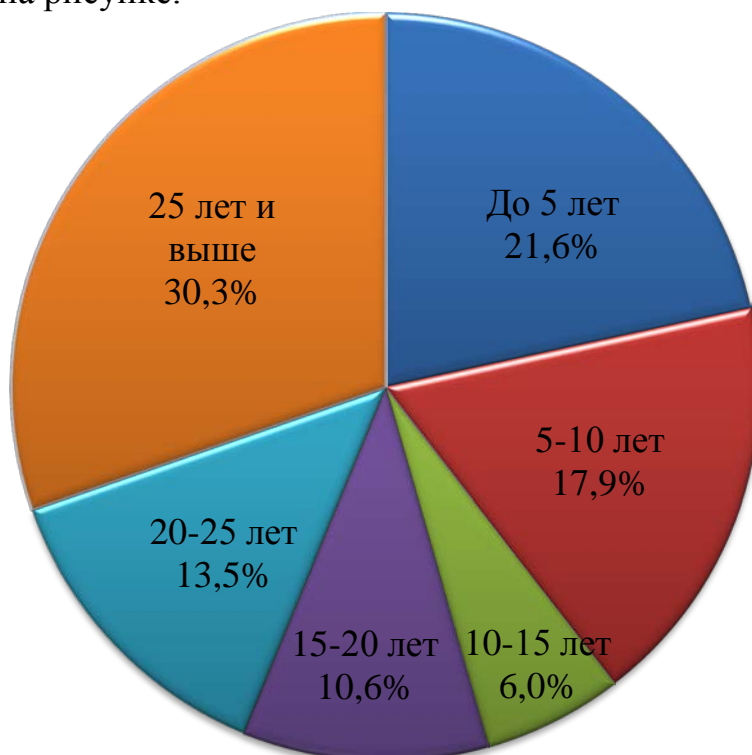


Рисунок 1 – Возрастная структура тепловых сетей

Литература

1. ТКП 458-2012 (02230). Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей – Минск 2013. – 86 с.
2. Инструкция по диспетчерскому управлению ремонтами и испытаниями оборудования в филиале «Бобруйские тепловые сети» – Бобруйск 2019. – 17 с.

УДК 621.438

ХАРАКТЕРИСТИКА БЛОКА ПГУ-230 МИНСКОЙ ТЭЦ-3

Козинцов Н.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И. Н.

В состав энергоблока входят: газовая турбина GT13E2 фирмы “Alstom” с собственным генератором и дожимным компрессором топливного газа; двухконтурный котёл-утилизатор, спроектированный и изготовленный предприятием “SES ENERGY a.s.” (Словакия); паровая теплофикационная турбина Т-53/76-8,0 с двумя сетевыми подогревателями и собственным генератором, спроектированная и изготовленная ЗАО “УТЗ” (Россия); общеблочное вспомогательное оборудование.

Основные технико-экономические показатели блока ПГУ-230:

- установленная мощность - 222 МВт;
- тепловая мощность - 136 Гкал/ч;
- выбросы NO_x - 50 мг/м³;
- КПД блока - 52,5%;
- коэффициент готовности - 95-96%;
- ремонтный цикл - 6-8 лет;
- плановые осмотры критических узлов без разборки - через 8 тыс. час.;
- средние ремонты - после наработки 25-30 тыс./часов 7;
- капитальные ремонты с разборкой ГТУ - после 48-50 тыс. часов.

Газовая турбина GT13E2, с частотой вращения ротора 3000 об/мин, предназначена для привода генератора типа 50WY21Z-095 с номинальной выходной мощностью 168 МВт. Газотурбинная установка GT13E2 является одновальным турбоагрегатом, работающим по простому термодинамическому циклу. Забираемый воздух, в зависимости от температуры окружающей среды подогревается и, проходя систему фильтров КВОУ, поступает в компрессор. С помощью ВНА, установленного перед компрессором, регулируется массовый поток воздуха. Компрессор имеет 21 ступень и расположен на одном валу с турбиной. Сжатый в компрессоре воздух подается в камеру сгорания. Часть воздушного потока, смешиваясь с газом, образует газоз-душную смесь, оставшаяся часть воздуха разогревается за счет сгорания газоз-душной смеси. Продукты сгорания, имеющие температуру 1100 °С направляются в газовую турбину, где происходит преобразование части тепловой энергии потока во вращательное движение вала ГТУ. Отработанные газы, имеющие температуру ~550 С, направляются в котел утилизатор.

Котел-утилизатор (КУ) – газоплотный горизонтальный теплообменный аппарат. На вход в КУ поступают отработанные газы из ГТУ и проходя последовательно поверхности нагрева, теряют тепловую энергию и на выходе в атмосферу имеют температуру 98 ГрадС. Котел-утилизатор подсоединен к выхлопу газовой турбины переходным диффузором. На входе в КУ производится контроль температуры газов по 15 точкам (температура не более 550 С) и давления газов (1,043 кгс/см²). За компенсатором на выходе из котла установлена дымовая труба. В дымовой трубе установлена дождевая заслонка и

шумоглушитель. Пароводяной тракт КУ состоит из контуров низкого и высокого давлений. Образующийся при работе паровой турбины (ПТУ) конденсат подается в газовый подогреватель конденсата (ГПК) котла-утилизатора. На паропроводах низкого и высокого давления установлены двухскоростные с гидравлическим приводом БРУ НД и БРОУ ВД производства «ССИ Австрия». Клапаны, предназначены для сброса пара в конденсатор ПТ в пусковых и аварийных ситуациях.

Паровая теплофикационная турбина Т-53/67-8,0 с конденсационной установкой и регулируемые отопительными отборами пара предназначена для непосредственного привода электрического генератора типа ТФ-80-2УЗ производства «ЭЛСИБ» с воздушным охлаждением мощностью 65 МВт, с частотой вращения ротора 50 с-1 (3000 об/мин) и отпуска теплоты для отопления и горячего водоснабжения. Турбина представляет собой одновальный двухцилиндровый агрегат, состоящий из цилиндров высокого и низкого давления, имеет дроссельное парораспределение на входах пара высокого и низкого давления. Турбина допускает общее число пусков не более 2000 за весь срок службы 40 лет; из них не более 120 пусков из холодного состояния при пусках паром скользящих параметров.

Главная электрическая схема энергоблока ПГУ-230 состоит из двух частей: газотурбинной установки и 1ГТ и паросилового блока 2ГТ. Генератор блока 1ГТ мощностью 180 МВт и генератор 2ГТ мощностью 63 МВт работают автономно через блочные трансформаторы и выключатели 110 кВ непосредственно на шины 110 кВ.

Связь с энергосистемой осуществляется на напряжении 110 кВ через ОРУ 110 кВ, выполненное по схеме двойной секционированной системы шин с обходной.

На генераторном напряжении обоих блоков устанавливаются генераторные выключатели. Синхронизация и включение генераторов в сеть осуществляется на генераторных выключателях.

Питание рабочих вводов 6 кВ собственных нужд энергоблока осуществляется от трансформатора 16 МВт, подключенного к генератору 1ГТ.

Для резервного электроснабжения собственных нужд блока устанавливается трансформатор 1ТР мощностью 25 МВ х А, подключенный к шинам 110 кВ. Кроме того, предусмотрена возможность резервирования потребителей 6 кВ от резервной системы шин, действующей ТЭЦ.

УДК 621.2

**ОСНОВНЕ ОБОРУДОВАНИЕ «МОГИЛЁВСКАЯ ТЭЦ-2»
РУП «МОГИЛЁВЭНЕРГО»**

Малюжанец Ж.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Могилевская ТЭЦ-2 является филиалом Могилевского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики РУП «Могилевэнерго».

Могилевская ТЭЦ-2 предназначалась для обеспечения теплом и электроэнергией строящегося комбината синтетического волокна и теплом южной части Могилева.

Заложенные в проекте основные технико-экономические показатели выражались в следующем:

Установленная мощность:

- электрическая – 345 МВт
- тепловая – 1778 Гкал/ч

Выработка электроэнергии: 2114,4 млн кВт·ч/год

Отпуск электроэнергии: 1886,2 млн кВт·ч

Отпуск тепла: 5971,5 тыс. Гкал/год

- в горячей воде – 3007,6 тыс. Гкал/год
- в паре – 2963,9 тыс. Гкал/год

Удельный расход условного топлива

- на отпуск электроэнергии – 216 г/кВт·ч
- на отпуск тепла – 167,5 кг/Гкал

Реализация этих показателей осуществлена за счет ввода в эксплуатацию основного и вспомогательного оборудования поэтапно, в три очереди: первая закончена в 1971 году, вторая – в 1973 году, третья – в 1987 году.

В настоящее время на Могилевской ТЭЦ-2 установлено следующее основное оборудование:

а) в котельном отделении:

- пять паровых котлов БКЗ-210-140;
- три паровых котла ТГМ-84Б;

б) в здании водогрейной котельной:

- четыре водогрейных котла КВГМ-100 производительностью 100 Гкал/ч каждый.

В качестве основного топлива для паровых и водогрейных котлов используется природный газ, в качестве резервного – мазут.

Основные производственные фонды ТЭЦ сосредоточены и распределены по структурным подразделениям, которые осуществляют их эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт:

- Котлотурбинный цех;
- Электрический цех;
- Химический цех;
- Цех тепловой автоматики;
- Цех топливоподачи;

- Цех централизованного ремонта;
- Ремонтно-строительный цех.

Топливное хозяйство. Цех топливоподачи создан в 1969 году. Штат цеха – 46 человек, из них ИТР – 5, рабочие – 41.

Пуск первых котлоагрегатов был произведен на мазуте вместо фрезерного торфа, а 30 декабря 1970 года основным и единственным видом топлива для ТЭЦ-2 принят мазут.

В 1996 году котлы ТЭЦ-2 начали переводить на сжигание природного газа, мазут стал резервным топливом. При ограничении поставок газа котлоагрегаты работают на мазуте. Оборудование топливоподачи готово в любое время подать мазут на горелки котлов, обеспечивая тем самым бесперебойную работу основного оборудования станции.

Мазутное хозяйство эксплуатируется в горячем резерве. Для приема и слива мазута из железнодорожных цистерн и перекачивания мазута в резервуары – мазутохранилища имеется комплекс устройств под названием приемно-сливного устройства, в которое входят железнодорожные пути, три эстакады с разогревающим устройством, межрельсовые лотки и три промежуточные емкости с разогревающими устройствами, перекачивающие погружные насосы, фильтр-сетки и гидрозатворы.



Рисунок 1 – Мазутохранилище

Котельные агрегаты. На Могилевской ТЭЦ-2 установлено пять котельных агрегатов типа БКЗ-210-140Ф, изготовленных Барнаульским котельным заводом, с параметрами:

- производительность – 210 т/час;
- давление в барабане – 156 кгс/см²;
- давление за главной паровой задвижкой – 140 ати;
- температура перегретого пара – 560°С.

Турбоагрегаты. Основные технические характеристики турбины ПТ-65-130/22:

- номинальная мощность - 65 МВт;
- максимальная мощность- 70 МВт, при полностью включенной регенерации может быть получена при разных сочетаниях величины производственного и отопительного отборов; а также при давлении в КРС не более 10,1 МПа (103 ата) и расхода пара в конденсатор не более 180 т/ч;
- частота вращения РТ - 3000 об/мин;
- давление в конденсаторе - 0,0035 МПа (0,035 ата);
- расчетная температура охлаждающей воды - 20 °С;
- расход охлаждающей воды - 8000 м³/ч;
- максимальный расход свежего пара на турбину - 396 т/ч;
- максимальное давление в камере регулирующей ступени ЦВД - 10,3 МПа (103 ата), ЦНД - 1,4 МПа (14 ата);
- максимальный расход в конденсатор - 180 т/ч;
- давление в регулируемых отборах: в производственном 1,8...2,2 МПа (18...22 ата); в отопительном 0,07...0,24 МПа (0,7...2,5 ата);
- максимальная величина регулируемых отборов: производственного 250 т/ч при давлении в камере отбора 2,2 МПа (22 ата), отопительного 170 т/ч при давлении в камере отбора 0,12 МПа (1,2 ата).

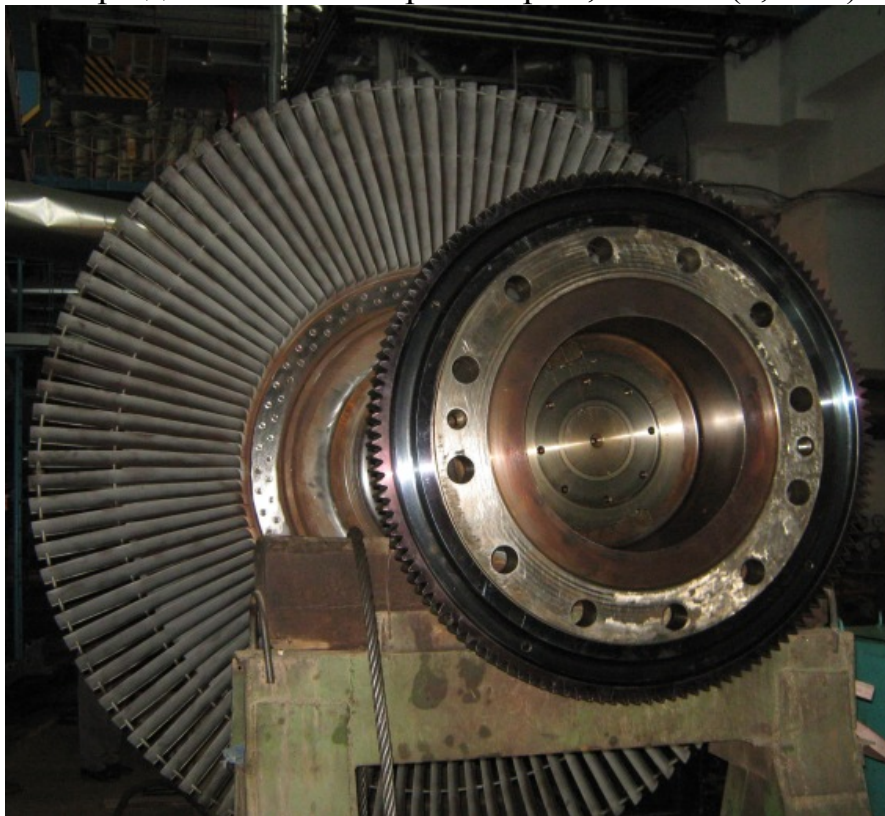


Рисунок 2 – Ротор турбины

Деаэратор. Деаэратор является подогревателем смешивающего типа и предназначается для удаления из химически очищенной воды кислорода, углекислоты и др. растворенных газов, разъедающих внутренние поверхности трубопроводов и арматуры. Растворимость газов в воде уменьшается при повышении ее температуры, и при достижении температуры кипения происходит удаление из воды свободного кислорода и углекислоты и др. растворенных газов.

Химический цех. Химический цех был создан в 1968 году для организации процессов водоподготовки и контроля за водно-химическим режимом работы оборудования Могилевской ТЭЦ.

В настоящее время химический цех Могилевской ТЭЦ-2 представляет собой сложное хозяйство, в ведении которого находятся: химводоочистка, склад химических реагентов, баковое хозяйство, экспресс-лаборатория, масляная лаборатория, узел для сбора и нейтрализации сточных вод ТЭЦ-2 и отмывочных вод регенеративных воздухоподогревателей.

Химводоочистка МТЭЦ-2 предназначена для восполнения потери пара и конденсата в пароводяном цикле станции. ХВО работает по схеме 2-ступенчатого обессоливания. Предварительная очистка воды ведется в осветлителях методом известкования с коагуляцией, с последующим осветлением ее на механических фильтрах.

Для подпитки тепловой сети производится умягчение осветленной воды в натрий-катионитовых фильтрах.

Экспресс-лаборатория осуществляет химический контроль качества воды, пара, конденсата в тракте станции.

Центральная химическая лаборатория включает: водную лабораторию, лабораторию масел и газов. Ее деятельность направлена на осуществление своевременного контроля качества воды, пара, энергетических масел, газов для технологических нужд станции, поступающих на станцию реагентов, проведение консервации, контроль за состоянием внутренних поверхностей нагрева котлоагрегатов, проточной части турбин. Лаборатория оснащена новейшими приборами и методиками химического контроля.

Исходной водой для химводоочистки является вода реки Днепр, предварительно подогреваемая в турбинном цехе до температуры 35⁰С.

Речная вода насосами речной воды, установленными в турбинном цехе, подается на химводоочистку, проходя последовательно через теплообменник непрерывной продувки, охладитель производственного конденсата и паровые подогреватели.



Рисунок 3 – Склад химреагентов



Рисунок 4 – Бассейн для приготовления гашеной извести

УДК 658.26

**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЗАО «АТЛАНТ». ОСНОВНОЕ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКО ОБОРУДОВАНИЕ**

Михолап К.А., Стельмах А.А., Мордас К.А., Чешкин А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Теплоснабжение

Источники теплоснабжения на предприятии ЗАО «Атлант»:

- котельная №1 - промплощадка №1;
- котельная №2 - промплощадка №2;
- котельная №3 - промплощадка завода бытовой техники ЗБТ;

Доля потребляемой тепловой мощности составляет 79,5% от общего потребления предприятия.

Оставшиеся 20,5% ЗАО «Атлант» потребляет от Минских тепловых сетей:

- перевалочная база;
- ФОК;
- ГО;
- подземная стоянка (гараж);
- потребители коммунально-бытовых услуг;

На котельной площадке предприятия установлены 2 паровых котла, производительность которых составляет 10 т/ч, а также 2 водогрейных котла 20 т/ч.

Тепловая энергия используется в виде пара и горячей воды.

Газоснабжение

С помощью двух городских вводов осуществляется снабжение газом (природным) на предприятии:

- от газопровода среднего давления;
- от газопровода с проспекта Победителей;

В ГРП производится коммерческий учет общего расхода природного газа и контроль параметров. Давление природного газа на вводе в ГРП 0,2МПа. Учет природного газа осуществляется по летнему и зимнему режиму работы завода.

Минимальный расход природного газа при работе на летнем режиме – 82м³/ч (счетчик газа PROWIRL Ø50).

Максимальный расход природного газа при работе в зимнем режиме – 6466м³/ч (счетчик газа PROWIRLØ150).

В ГРП производится очистка газа от механических примесей фильтрами ФГ-1,1-25-12 Ø25 и ФГ-18-100-12 Ø100.

Работа ГРП предусматривается в автоматическом режиме без постоянно обслуживающего персонала.

Прокладка газопроводов на территории площадки потребителя – надземная на опорах и частично – подземная и по кровле корпусов.

Для обеспечения технологически требуемого давления газа перед каждым видом потребителя установлена газорегуляторная установка (ГРУ).

Для доставки мазута используется автомобильный транспорт.

Водоснабжение

Осуществляется водопользование:

- на промплощадке №2 водоснабжение на хозяйственные нужды осуществляется из городского водопровода по трем вводам $D=200$ мм;
- производственная вода на промплощадку №2 подается централизованно из водозабора «Дрозды»;
- на промплощадке №2 расположена артезианская скважина №50199/93, насос ЭЦВ 8-16-140;
- на промплощадке №2 имеются системы оборотного водоснабжения, предназначенные для охлаждения оборудования, которые включают в себя напорные и самотечные сети, насосные станции, холодильные машины, регулирующие резервуары, градирни.

Электроснабжение

Электроснабжение основной площадки предприятия осуществляется от подстанции «Западная» по 8 кабельным линиям на 5 распределительных устройств 10 кВ, схема представлена на рисунке:

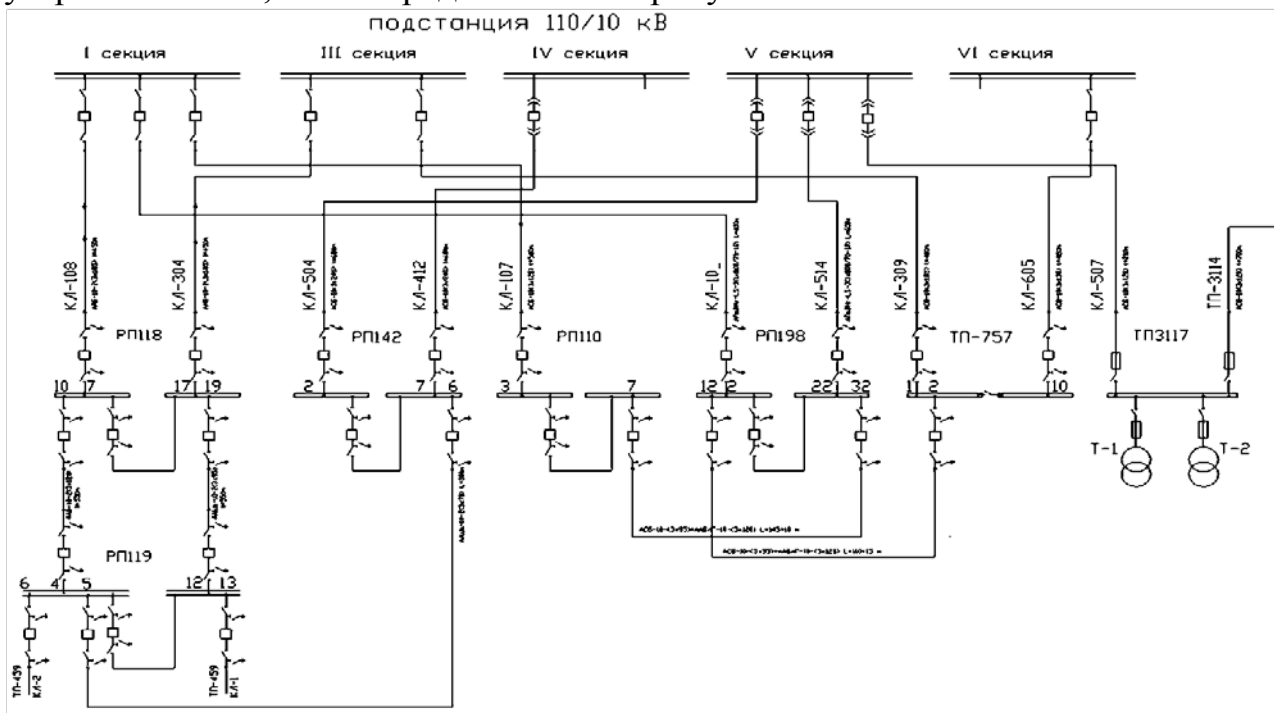


Рисунок 1 – Схема внешнего электроснабжения

Основное теплоэнергетическое оборудование

Компрессор 4ВМ10-120/9 - это общепромышленная поршневая установка, которая служит для получения технического сжатого воздуха давлением до девяти атмосфер.

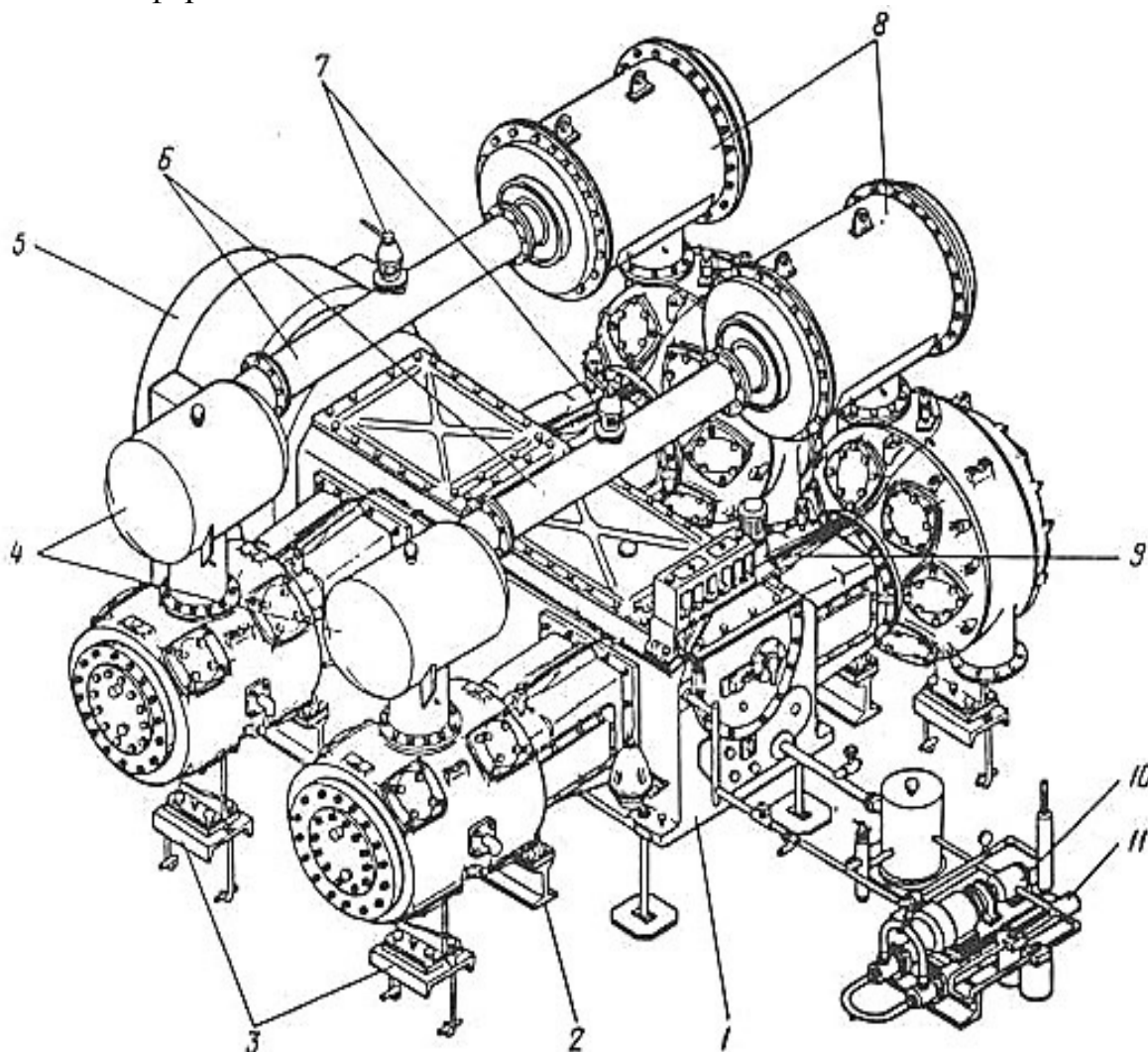


Рисунок 2 – Устройство компрессора 4ВМ10-102/9

Таблица 1 – Устройство компрессора 4ВМ10-102/9

Позиция	Наименование	Количество
1	Компрессор 4ВМ10-120/9	1
2	Опора в сборе	4
3	Опора в сборе	4
4	Влажомаслоотделитель	2
5	Электродвигатель	1
6	Труба соединительная	2
7	Клапан предохранительный Ду100 Ру 1.6 в сборе	2
8	Холодильник промежуточный в сборе	2
9	Агрегат смазки АЦС-8 в сборе	1
10	Агрегат смазки в сборе	1
11	Холодильник масляный в сборе	1

Характеристики агрегата 4ВМ10-120/9: давление – 9 кг/см²; выход – 103 м³/мин; мощность – 630 кВт; вес – 17080 кг; габариты 5180x4430x3000 мм; производительность – 2,075 (+15% -5%) м³/с; абсолютное давление всасывания – 0,1 МПа, нагнетания – 0,9 МПа; ход поршня – 220 мм; цилиндров – 4; диаметр цилиндров: I ступени - 620 мм, II ступени – 370 мм; диаметр штока – 60 мм.

Мощность – 666 кВт; расход охлаждающей жидкости при 288 К (15 градусов) на входе – 0,00382 м³/с; частота вращения – 10 с⁻¹; ступени для автоматического регулирования и контроля производительности 100-75-50-0%; грузоподъемность: для монтажа – 12900 кг, для ремонта – 2640 кг.

Винтовой компрессор L132–250 служит для получения технического сжатого воздуха давлением до тринадцати атмосфер.



Рисунок 3 – Внешний вид компрессора L132-250

Основные узлы, составляющие компрессор: шкаф с дисплеем; отдельная электрическая и механическая часть; электродвигатель; компрессор; масляный бак, с установленным внутри него сепаратором; три холодильника (2 для масла, 1 для воздуха).

Характеристики компрессора L132-250: давление – до 13 кг/см²; выход – от 24,2 м³/мин до 42,7 м³/мин; мощность – 250 кВт; вес – 5030 кг; габариты 2800x1920x2073 мм; шум – 78 дБ.

ТЕРМОТЕХНИК ТТ200 (рисунок 4, 5) – стальные газотрубные трехходовые по ходу дымовых газов паровые котлы, оснащенные топкой, работающей под наддувом. Котлы предназначены для выработки насыщенного пара с максимальной температурой 204°С при допустимом рабочем давлении до 1,6 МПа.

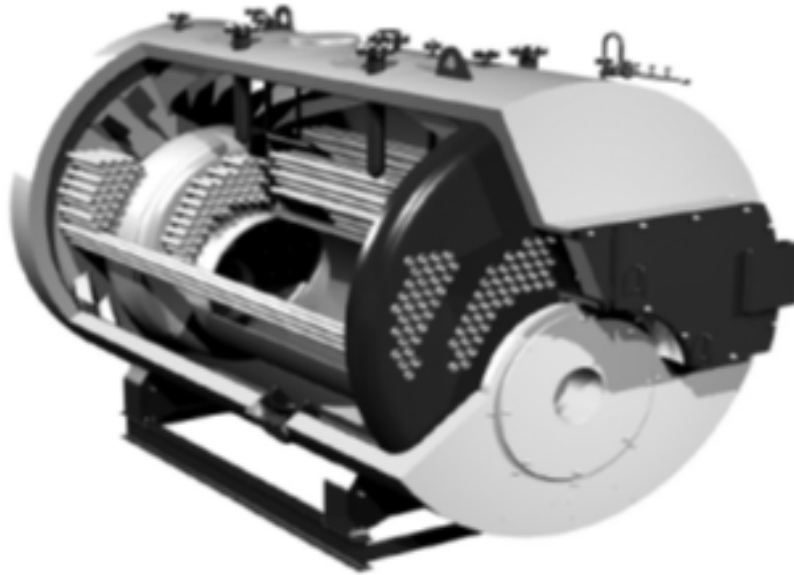


Рисунок 4 – Котел ТТ200

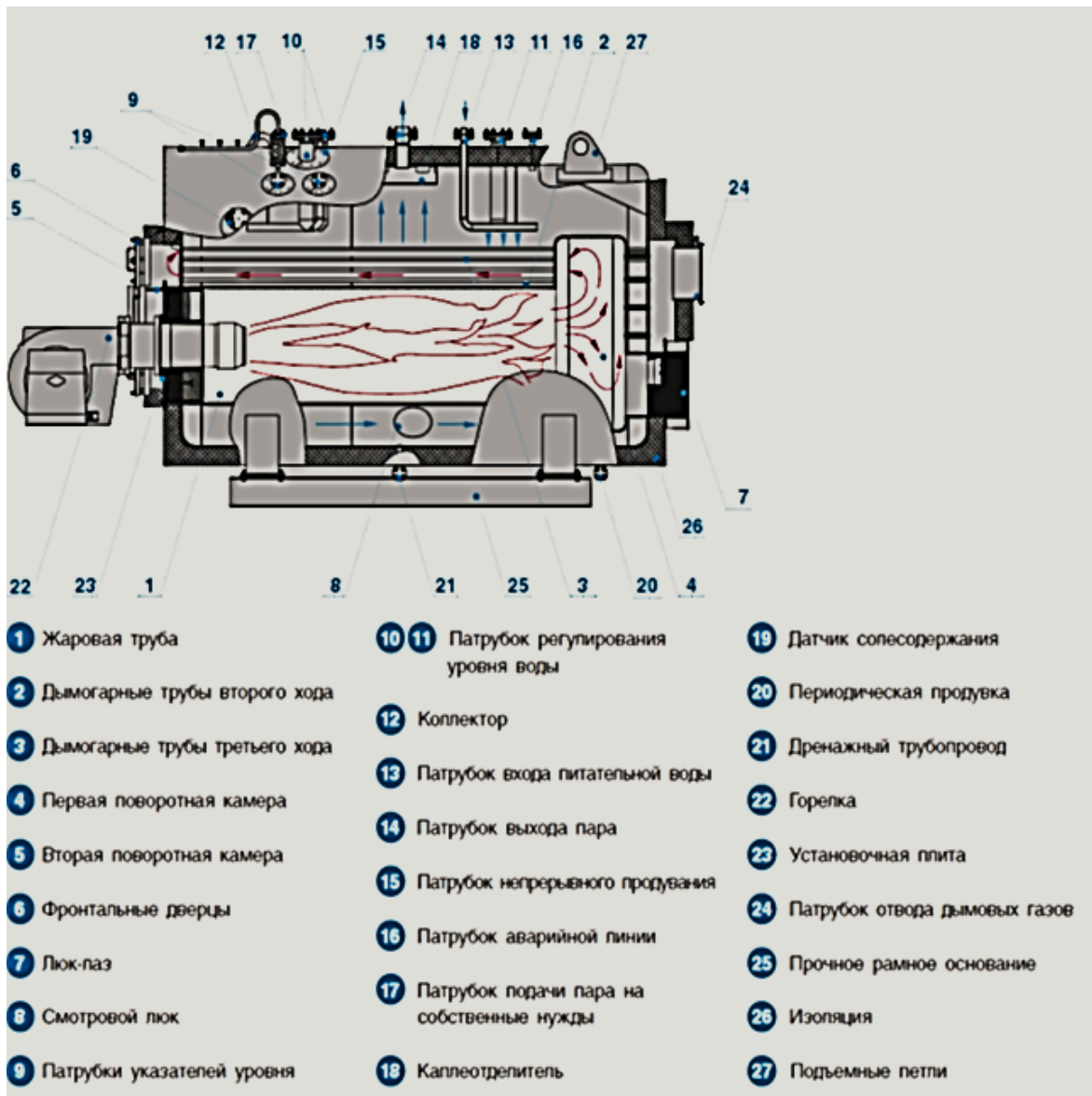


Рисунок 5 – Устройство ТТ200

Водогрейный стационарный котёл (рисунок 6) КВ-ГМ-20-150 имеет теплопроизводительность 23,25 (20) МВт (Гкал/ч) и предназначен для получения горячей воды давлением до 2,25 МПа и номинальной температурой 150°С, которая используется в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Для работы на газообразном топливе котёл имеет газовый блок.

Для работы на мазуте котёл имеет мазутный блок.

Котел КВ-ГМ-20-150 оборудован одной газо-мазутной горелкой РГМГ–20.

Несущий каркас у котла отсутствует и каждый блок котла (конвективный и топочный) имеет опоры, которые приварены к нижним коллекторам.

Котёл выполняется в облегчённой обмуровке, крепящейся к экранам или к стоякам конвективного блока. Толщина обмуровки 110 мм.



Рисунок 6 – Котел КВ-ГМ-20-150

Литература

1. Группа БТС Комплексный инжиниринг [Электронный ресурс] biyskteplo.ru: комплексный инжиниринг энергообъектов: котельное и промышленное оборудование. URL: <https://biyskteplo.ru/products/vodogrejniy-kotyol-kv-gm-10-150-kv-gm-1163-150> (дата обращения: 20.07.2020);

2. Производственно Коммерческое Предприятие «ГАЗСЕЛЬСТРОЙ ЛТД» [Электронный ресурс] kompressori.com.ua: компрессоры и запчасти ОАО «Пензкомпрессормаш». URL: <https://kompressori.com.ua/p2584274-kompressor-zapchasti-4vm10.html> (дата обращения: 20.07.2020);

3. Энергопром [Электронный ресурс] energoprom.info: Документация каталог деталей и сборочных единиц. URL: www.energoпром.info/docs/docs_3_1.php (дата обращения: 20.07.2020).

УДК 658.26

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОАО "МОЗЫРЬСОЛЬ" Г. МОЗЫРЬ

Кохан Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

ОАО "Мозырьсоль" является одним из крупнейших предприятий пищевой индустрии в Республике. ОАО «Мозырьсоль» уже более 20 лет специализируется на производстве поваренной соли.

Предприятие использует мозырское месторождение каменной соли. Соль залегает пластами на глубине 699—734 метра и содержит 81—99% NaCl и 0,4—3,5% нерастворимых остатков. Промышленные запасы в 1999 году составляли около 600 млн тонн.

Предприятие ОАО «Мозырьсоль» обеспечивается электроэнергией от распределительных устройств существующей когенерационной установки, паровых турбин и от сетей энергосистемы через подстанции ПС.

Суммарное потребление электроэнергии на предприятии составляет 37,5 млн кВт·ч. Средняя за год потребляемая электрическая мощность предприятия составляет величину порядка $\approx 4,7$ МВт. Средняя генерируемая мощность существующими источниками предприятия составит 4,3 МВт. Суммарное потребление тепловой энергии на предприятии 363,1 тыс. Гкал, большая часть генерируется на котельной.

Основным топливом котельной является природный газ, резервное топливо отсутствует.

Источниками теплоснабжения предприятия являются собственная паровая котельная на базе 4-х паровых котлов ГМ-50/4, установленных на отдельной площадке, и когенерационный энергоисточник на базе 2-х газопоршневых аппаратов Caterpillar G3516. Круглый год в работе находится два газопоршневых аппарата. Установленная тепловая мощность двух газопоршневых аппаратов составляет 3,6 МВт, электрическая – 3,2 МВт, установленная электрическая мощность паровых турбин составляет 3,0 МВт.

Тепловые нагрузки предприятия ОАО «Мозырьсоль» на технологию в течение года остаются постоянными. Изменяется лишь отопительная нагрузка, которая обеспечивается пароводяными подогревателями, потребляющими пар 1,2 МПа. Продолжительность отопительного периода является 189 суток.

Дымовые газы от 2-х газопоршневых аппаратов используются для подогрева сушильного агента в отделении сушки. Небольшая часть теплоты систем охлаждения ГПА используется для подогрева технологического воздуха перед барабанными сушилками. В существующей схеме практически отсутствует техническая возможность использовать теплоту систем охлаждения ГПА и поэтому большая ее часть рассеивается в окружающую среду в градирнях аварийного охлаждения ГПА.

Основным теплоносителем на предприятии является пар давлением 1,3 МПа и температурой 200 °С, поступающий от котельной на турбогенераторную, где его давление понижается до 0,25 МПа в паровых турбинах или редукционных установках. Затем пар поступает на технологические нужды (выпарные

аппараты). Часть пара в котельной поступает на паровые бойлеры, в которых подогревается сетевая вода на нужды отопления и ГВС. Нагрузка отопления и ГВС составляет лишь 2 % от общего потребления тепловой энергии на предприятии.

Отпуск теплоты на нужды отопления и ГВС осуществляется по закрытой системе теплоснабжения: подогрев сетевой воды происходит в сетевых бойлерах, установленных на котельной, далее сетевая вода из котельной поступает по тепловым сетям диаметром 250 мм протяженностью порядка 1 км до главного корпуса. Давление сетевой воды в трубопроводах прямой/обратной сетевой воды в отопительный период составляет 0,9/(0,23-0,25) МПа в межотопительный период 0,6/(0,23-0,25) МПа. Нагрузка пара 0,25 МПа на технологические нужды является доминирующей и составляет 98 % от суммарной нагрузки, потребляемой на ОАО «Мозырьсоль». Фактическое потребление пара 0,25 МПа на предприятии колеблется в диапазоне 33...99 т/ч и зависит от количества выпарных аппаратов, находящихся в работе.

Нагрев сетевой воды в отопительный период в количестве 344 м³/ч происходит от начальной температуры 45 °С до конечной температуры 80 °С. В межотопительный период происходит нагрев сетевой воды в количестве 218 м³/ч от начальной температуры 58 °С до конечной температуры 80 °С.

УДК 628.9

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ DALI

Перехвал П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

Назначение интегрированных систем управления освещением это, прежде всего увеличение энергоэффективности, повышение комфорта жилья, улучшение эксплуатационных характеристик производственных зданий.

На рынке систем управления освещением в основном присутствуют производители компонентов (устройств управления, переключателей, балластов) а не технических решений.

Основным назначением таких устройств является эффективное управление энергопотреблением. Введение в эксплуатацию и настройка таких систем достаточно сложна, и еще более сложна, если в систему входит несколько таких аналоговых контроллеров управления освещением.

В цифровых системах для связи не требуется отдельных проводов, подавляющее большинство цифровых устройств могут использовать для передачи информации силовые кабели. Одной из последних разработок в области управления светотехническими устройствами является DALI (Digitally Addressable Lighting Interface — цифровой адресуемый интерфейс освещения).

Интерфейс DALI был разработан в 1999 году. Он пришел на смену системе управления DSI (Digital Serial Interface).

Управление освещением можно рассматривать как своего рода искусство, которое может потребоваться при освещении театральной сцены, производственных помещений, улицы и, наконец, жилых помещений.

Система управления освещением на базе интерфейса DALI может быть легко интегрирована в различные системы автоматизации управления зданием, такие, как LON, BACNet, KNX/EIB.

Стандарт протокола и аппаратные средства DALI предназначены только для управления освещением, что говорит об узкой специализации данной системы. Поэтому в целом система получилась высокоэффективной и недорогой.

Для передачи данных используется постоянное напряжение экстремально низкого значения 22,5В. Сеть на базе шины DALI не имеет центрального процессора, т.е. децентрализована.

Программирование системы в целом достаточно просто. Каждое сообщение, которое получает устройство от контроллера DALI состоит из двух частей, - адреса и команды.

Протокол DALI построен таким образом, что позволяет адресовать непосредственно 64 устройства, подключенных к одной линии управления. Для проектирования DALI-сетей применяется специальное программное обеспечение.

Одно устройство управления DALI может воспроизводить до 16 световых сценариев и получать и хранить информацию о различных параметрах системы: исправность светильников, включен или выключен светильник, заданный уровень освещенности.

В составе системы DALI предусмотрено использование датчиков движения, присутствия и освещенности, что несколько расширяет функциональность устройства в целом.

В случае отключения электроэнергии DALI контроллер запоминает текущее состояние, а при возобновлении энергоснабжения автоматически восстанавливает последнее рабочее состояние.

УДК 621.31

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО
ДВИГАТЕЛЯ ДГ90Л2.1**

Меновщиков Д.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Электрооборудование ГТД служит для обеспечения работы стартеров, электромаслонасосов, исполнительных механизмов, контрольно-измерительных приборов и САУ.

Электрооборудование совместно с САУ осуществляет:

- автоматическое управление агрегатом при пуске, на рабочем режиме, при нормальном и аварийном остановах;
- автоматический контроль и формирование информации обслуживающему персоналу о состоянии агрегата;
- автоматическую защиту при аварийных ситуациях.

Электрооборудование агрегата состоит из силового электрооборудования и электрооборудования системы управления.

Силовое электрооборудование состоит:

- из электростартеров с преобразователями-регуляторами частоты тока и напряжения Altivar-68C10N4E;
- нагнетающего и откачивающего маслонасосов ГТД;
- силовых кабелей.

Электрооборудование системы управления состоит из:

- датчиков предельных значений рабочих параметров;
- исполнительных механизмов блока топливных агрегатов;
- автономных приборов контроля и защиты;
- системы плазменного воспламенения топлива СПВ-2-4В;
- соединительных коробок, разъемов, кабелей управления.



Рисунок 1 – Клеммный ящик

Электростартеры – пусковое устройство ГТД состоит из двух электростартеров МСТ1, МСТ2 (тип АИММ 180М2 УХЛ2 мощностью 30 кВт переменного напряжения 380 В) и двух преобразователей-регуляторов частоты тока и напряжения ATV-68С10N4Е.

Раскрутка ротора КНД осуществляется при одновременном включении электростартеров на первую, пониженную частоту (25 Гц) и переключении на вторую, полную частоту (50 Гц).

Преобразователи-регуляторы "Altivar-68" (рис. 2) конструктивно выполнены в виде железного шкафа.

Преобразователи предназначены для питания короткозамкнутых асинхронных электростартеров ГТД.

Режим работы преобразователя повторно-кратковременный по циклам пуска ГТД с повторением циклов без ограничения их по длительности и повторяемости.

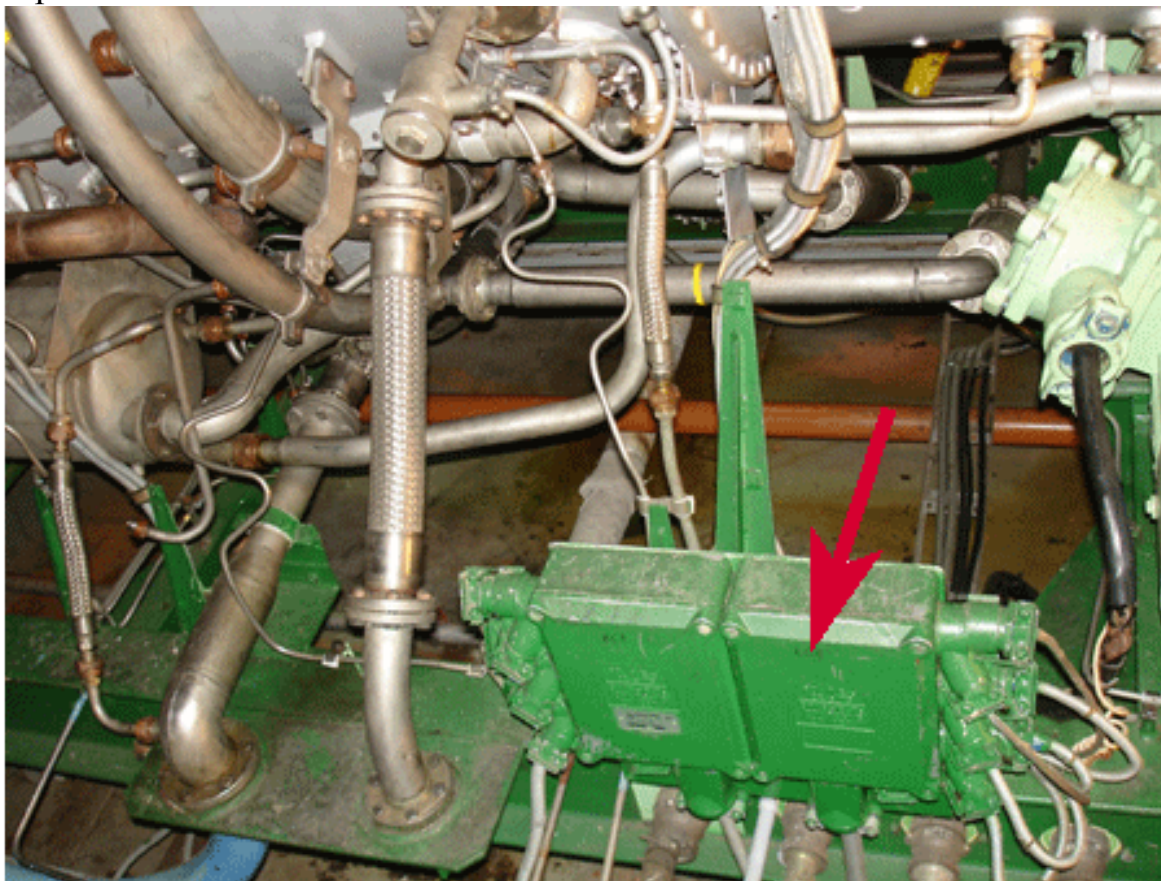


Рисунок 2 – Преобразователи-регуляторы

Блок искробезопасности сигнализаторов стружки (БИСС) служит для опроса сигнализаторов стружки.

БИСС состоит из схемы гальванической развязки цепей (друг от друга, от питающей сети и от внешней системы контроля и управления), собранной в модуле искробезопасности (МИ), и схемы контроля цепей сигнализаторов, выполненной с помощью реле, находящимся в МИ.

Гальванические развязки цепей представляют собой контролируемые внешние связи с сигнализаторами стружки.

МИ состоит из преобразователя напряжения и шести каналов опроса сигнализаторов стружки.

Схема БИСС работает следующим образом.

При замыкании цепи сигнализатора стружки замыкается вход МИ.

В МИ срабатывает релейный элемент и своим контактом замыкает цепь сигнализации во внешнюю систему контроля и управления.

Для контроля целостности (отсутствия обрыва) цепей связи с сигнализаторами стружки по команде из внешней системы контроля и управления включаются реле в МИ и своими контактами замыкают цепи кабелей к сигнализаторам стружки.

Если цепи исправны, то замыкаются входы МИ, срабатывают релейные элементы в МИ и своими контактами замыкают цепи связи с внешней системой контроля и управления.

Ограничитель раскрутки турбины

Питание 27 В на ограничитель раскрутки турбины (ОРТ) (рис. 3) подается контактами из системы управления. Сигнал о предельном значении частоты вращения ТН поступает на ОРТ от индуктивного датчика ограничения частоты вращения, расположенного непосредственно на ТН.

При предельной частоте вращения ТН ОРТ выдает сигнал в систему управления на формирование команды аварийного останова двигателя: обесточивание клапана нормального останова (КНО) и включение клапана аварийного останова (КАО).

Кроме того, КАО включается дополнительно контактами ОРТ.

На установленной ("контрольной") частоте вращения ротора ТН ОРТ выдает сигнал на пульт управления (ПУ) "ОРТ работает".

Если частота вращения ТН больше или равна "контрольной", а сигнал на ПУ не выдается, то САУ выдает предупредительный сигнал о неисправности ОРТ.

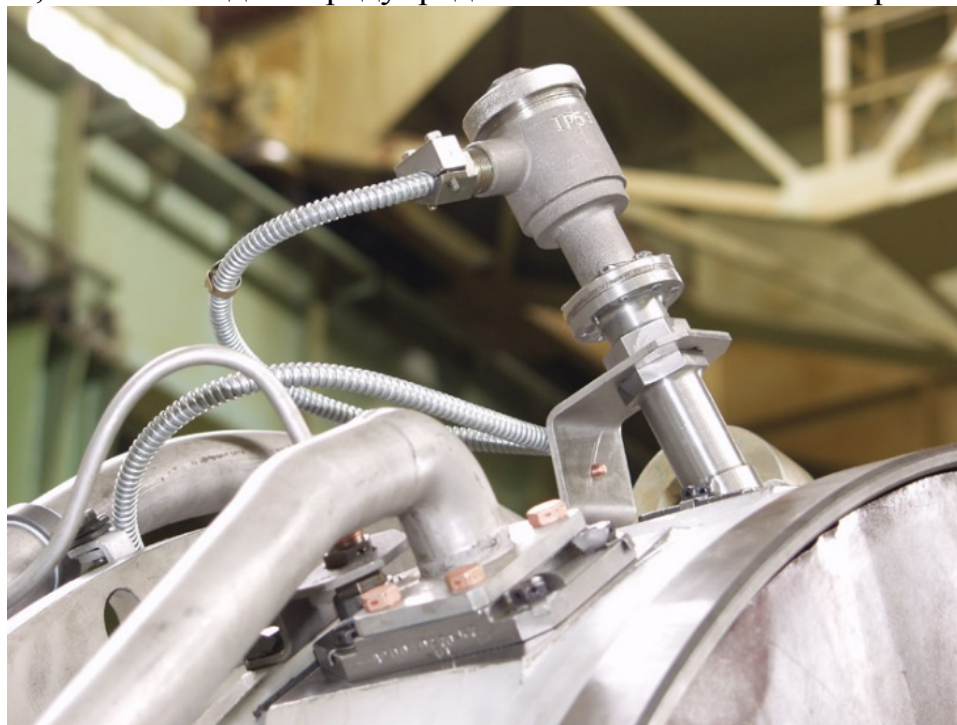


Рисунок 3 – Датчик ограничения частоты вращения ротора ТН

Система плазменного воспламенения топлива СПВ-2-4В предназначена для воспламенения топливовоздушной смеси в КСг ГТД. В состав СПВ входит блок питания и плазмоструйные свечи. Корпус СПВ имеет взрывобезопасный уровень защиты.

Литература

1. Компания ТД В-КИП ведущий поставщик промышленного оборудования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://v-kip.com/system-spb-2-4>. Дата доступа: 22.09.2020

УДК 620.9

СРАВНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Калий В.А.

Научный руководитель – ассистент Иванчиков Е.О.

Развитие солнечной энергетики насчитывает более 100 лет. В первые годы солнечная энергия использовалась в основном для производства пара, который затем можно было использовать для привода машин. Но только после открытия Эдмондом Беккерелем "фотоэлектрического эффекта", который позволил бы преобразовывать солнечную электрическую энергию. Открытие Беккереля привело тогда к изобретению Чарльзом Фриттсом в 1893 году первого подлинного солнечного элемента, который был сформирован путем покрытия листов селена тонким слоем золота. [1]

Солнечные батареи собирают чистую возобновляемую энергию в виде солнечного света и преобразуют этот свет в электричество, которое затем может быть использовано для обеспечения электроэнергией электрических нагрузок. Панели солнечных батарей состоят из нескольких отдельных элементов, которые сами по себе состоят из слоев кремния, фосфора (обеспечивающего отрицательный заряд) и бора (обеспечивающего положительный заряд). Панели солнечных батарей поглощают фотоны и таким образом инициируют электрический ток. В результате энергия, получаемая от фотонов, попадающих на поверхность панели солнечных батарей, позволяет электронам выбиваться из их атомных орбит и высвободиться в электрическое поле, генерируемое солнечными батареями, которые затем переносят эти свободные электроны в направленный ток. Весь этот процесс известен как фотоэлектрический эффект.

Солнечный коллектор — это устройство, которое собирает и/или концентрирует солнечное излучение Солнца. Эти устройства в первую очередь используются для активного солнечного нагрева и позволяют нагревать воду для личного пользования. Эти коллекторы обычно устанавливаются на крыше и должны быть очень прочными, так как они подвергаются воздействию различных погодных условий.

Сравнение солнечного коллектора и солнечной батареи

Солнечная батарея состоит из пакета фотогальванических элементов. Она может быть использована в более крупной фотоэлектрической системе для производства и поставки электроэнергии для жителей и других коммерческих применений. Солнечное излучение, падающее непосредственно на солнечную панель, преобразуется в постоянный ток. Выходная мощность электрической энергии каждой панели варьируется от 100 до 320 Вт. [2]

Солнечный тепловой коллектор, с другой стороны, собирает тепло путем прямого поглощения солнечного света. Он состоит из коллектора, который преобразует энергию солнечного света в более используемую форму. Солнечные коллекторы можно назвать солнечными параболическими аппаратами для более сложных установок и солнечным тепловым воздухом для менее сложных установок. Более сложные коллекторы используются в солнечных

электростанциях для нагрева воды с целью получения пара, который, в свою очередь, приводит в движение турбину, подключенную к электрогенератору для выработки электроэнергии. Однако менее сложные коллекторы используются в коммерческих и жилых зданиях для дополнительного отопления помещений.

Эффективность

Большинство солнечных батарей имеют эффективность около 11-15%. Эффективность панелей измеряется количеством солнечного света, попадающего на панель, которая, в свою очередь, преобразуется в электричество. Панели солнечных батарей с малой площадью поверхности высокоэффективны. Эффективность панелей также зависит от ориентации панели, угла наклона или наклона крыши и панели, температуры и тени крыши. [3]

Производительность солнечного теплового коллектора зависит от следующих критериев:

- Площадь солнечного коллектора
- Общее количество солнечного излучения, падающего на коллектор
- Угла наклона коллектора и его ориентации.

Однако эффективность солнечного коллектора зависит от нескольких факторов, таких как прирост тепла, площадь поверхности, коэффициент преобразования и потери тепла через конвекцию. Низкотемпературные модели солнечных коллекторов работают на высоких уровнях эффективности, когда разница температур составляет от 5 до 30°C, а среднетемпературные модели работают, когда разница температур составляет от 15 до 200°C.

Литература

1. Официальный сайт компании Online Solar, LLC [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа <https://www.mrsolar.com/what-is-a-solar-panel/> – Дата доступа: 28.10.2020.
2. AZoCleantech – ведущее онлайн-издание сообщества Чистых Технологий [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=340> – Дата доступа: 25.10.2020.
3. GreenMatch — это онлайн-сервис экологически чистых энергетических продуктов [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/04/solar-panels-vs-solar-thermal> – Дата доступа: 29.10.2020.

УДК 621.18

**ПАРОВЫЕ КОТЛЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ
ТИПА BBS GMBH HDK**

Калий В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Жаротрубные паровые котлы массово используются в сегодняшней жизни. Самыми распространёнными сферами использования являются сфера жилищно-коммунального хозяйства, а также производство, имеющее потребность в паре. Например, подобное оборудование может располагаться в котельных, которые обслуживают:

- комплексы и жилые здания;
- административные и коммерческие помещения;
- производственные цеха;
- медицинские и общеобразовательные учреждения;
- подобные сооружения, которые нуждаются в эффективном и дешёвом источнике тепла.

В целом, же можно отметить, что котлы данного типа используется в любом месте, где потребность в паре постоянна и равномерна.

Паровые котлы типа HDK (котлы высокого давления) имеют паропроизводительность в диапазоне от 0,3 до 16 т/ч – это паровые котлы, которые имеют три хода по направлению прохода газов и одну жаровую трубу. Они изготавливаются в качестве генераторов насыщенного пара. Также существует опция дополнительного оборудования пароперегревателем для получения перегретого пара.

Для увеличения значения теплотехнического КПД котлов может быть предложена комплектация экономайзерами высокой эффективности. Предельное давление для работы до 30 бар.

Паровой котёл типа BBS GmbH HDK отличается высокой надёжностью, высокоэкономичностью, рентабельностью, продолжительным сроком использования, качеством, незамысловатостью и удобством обслуживания. Котлы данного типа используются во многих отраслях промышленности.

Котёл исполняется из материалов, которые соответствуют последней Европейской Директиве о Сосудах, работающих под давлением 2014/68/EU и предписаниям о паровых котлах. Первенствующей нормой для расчёта ресурса котла, расчёта на прочность и определения конструкции котла является актуальные в Федеративной Республике Германии нормы DIN EN AD 2000 и HP-0. В оснащение котла входят устройства КИПа и автоматики, котёл изготавливается также согласно TRD и проверяется службой технического надзора (TÜV).



Рисунок 1 – Паровой котёл BBS GmbH HDK 8.000

Длина жаровой трубы, её диаметр и отношение этих параметров друг к другу подбираются так, чтобы горелочный факел мог беспрепятственно формироваться в пространстве топки с целью достижения максимально полного сгорания топлива. Вследствие небольшой тепловой нагрузки на топочное пространство (нагрузка на топку $< 1,3 \text{ МВт/м}^3$), получается сниженная эмиссия оксидов азота (NO_x) в дымовых газах и гарантируется режим работы, соответствующий экологическим нормам. На основании значений диаметра топочной камеры и рабочего давления котла могут использоваться гладкие или гофрированные жаровые трубы. Размещение жаровых труб в первой снизу трети котла положительно влияет на процесс теплообмена и совершенствует свободную циркуляцию воды в котле. Второй и третий ходы котла составляют цельную трубу из стали (без осевых или диаметральных швов сварки). Спецификой оригинального решения является то, что вышеуказанные трубы сначала развальцовываются, а после этого привариваются к фронтальным крышкам котла.

Литература

1. Издательский Центр «Аква-Терм» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka_21.html. Дата доступа: 22.09.2020
2. Экспертный строительный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mr-build.ru/newteplo/zarotrubnyj-kotel-princip-raboty.html>. Дата доступа: 22.09.2020
3. Фирма BBS GmbH – производитель котлов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bay-boiler.com/паровые-котлы-высокого-давления/?lang=ru> Дата доступа: 22.09.2020

УДК 621.57

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТАНЦИЙ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА С ВНЕДРЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Рыктер В.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Изначально для отопления служебных помещений станций Минского метрополитена применялось централизованное теплоснабжение. Автономное теплоснабжение на базе тепловых насосов впервые было введено в эксплуатацию на одном из вестибюлей станции «Тракторный завод» в 1996 году. Источником тепла в том случае послужил воздух трансформаторного зала совмещенной тягово-понижительной подстанции. Огромным источником низкопотенциального тепла в Минском метрополитене является воздух станций, тоннелей, трансформаторных подстанций. Так температура воздуха в зимний период в тоннеле не опускается ниже 15°C , а на подстанциях ниже 20°C , что позволяет получить высокий коэффициент энергоэффективности теплового насоса.

В настоящий момент на метрополитене эксплуатируются 40 тепловых насосов, которые осуществляют теплоснабжение 20 станций метрополитена из 29 действующих станций.

Суммарная тепловая мощность установленных тепловых насосов на сегодняшний день составляет около 600 кВт. Все вновь вводимые станции метрополитена с 2001 года (это 9 станций) проектируются с системами автономного теплоснабжения на базе тепловых насосов.

Еще 10 станций было переведено с централизованного теплоснабжения на автономное теплоснабжение силами метрополитена.

Вследствие небольших нагрузок на отопление служебных помещений станций, применяемые тепловые насосы имеют небольшие габариты и вес, что позволяет более гибко использовать все имеющиеся варианты размещения тепловых пунктов.

Для нуждающейся в капитальном ремонте системы отопления станций возможны два варианта: выполнить необходимый капитальный ремонт системы отопления или выполнить модернизацию системы отопления с внедрением тепловых насосов. Предлагается выполнить модернизацию системы отопления с внедрением тепловых насосов, что позволит отключиться от внешних систем теплоснабжения и перейти на автономное теплоснабжение от теплового насоса, что позволит снизить затраты на эксплуатацию теплоснабжения станций более чем в 3 раз.

Стандартная система автономного теплоснабжения станции метрополитена на базе тепловых насосов состоит из двух тепловых пунктов, размещенных на противоположных вестибюлях, в каждом из которых установлен тепловой насос, являющийся основным источником тепловой энергии. Расчетная температура вырабатываемого теплоносителя в контуре конденсатора теплового насоса составляет $55^{\circ}\text{C} / 50^{\circ}\text{C}$, в системе отопления теплоснабжение осуществляется

по постоянному температурному графику 55/45 °С. Регулирование температуры теплоносителя в системе отопления осуществляется путём изменения задаваемой установки температуры теплоносителя в конденсаторе теплового насоса. Для некоммерческого учета тепла в контуре устанавливается теплосчетчик. Резервным источником теплоснабжения является электродкотел.

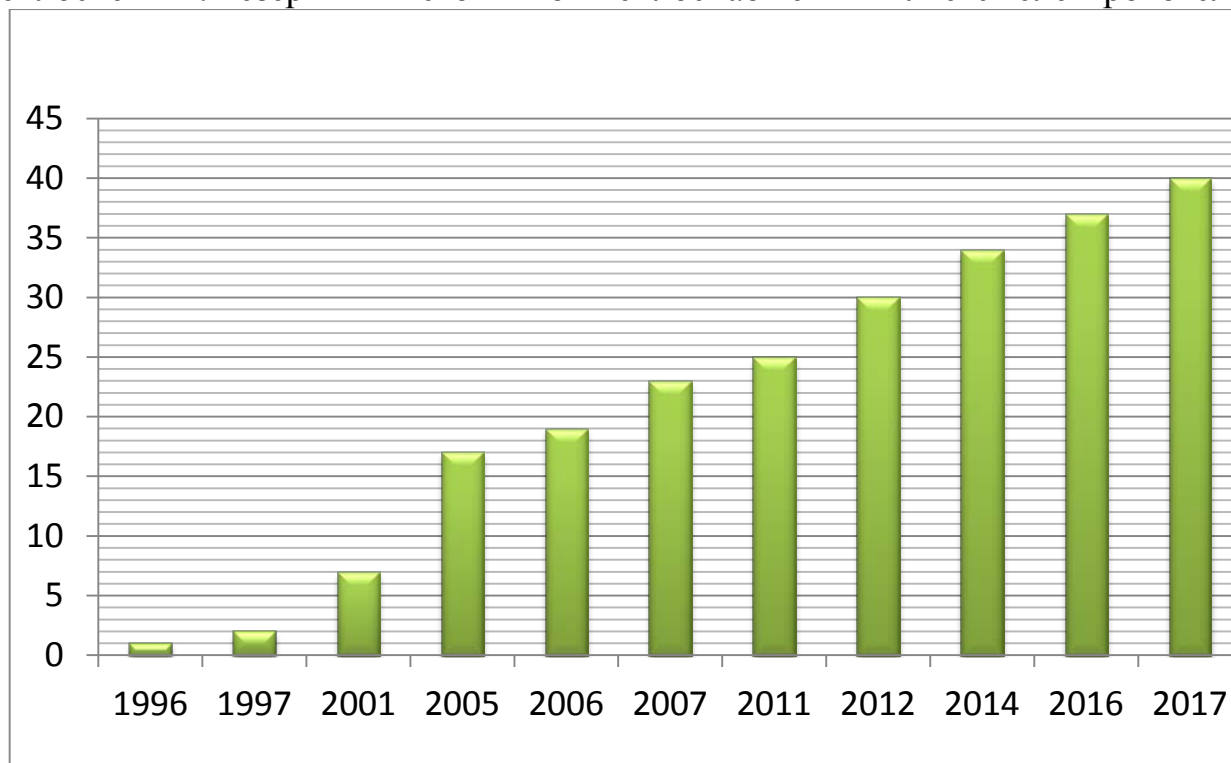


Рисунок 1 – Динамика внедрения тепловых насосов

УДК 621-621.2

**ТОПЛИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО МИНСКОЙ “ТЭЦ-4”
РУП “МИНСКЭНЕРГО”**

Петровский Н.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Топливное хозяйство Минской “ТЭЦ-4” РУП “МИНСКЭНЕРГО” представлено газовой и мазутной системами топливоснабжения.

Мазутное хозяйство

Мазутное хозяйство состоит из следующих сооружений:

- мазутонасосной;
- склада мазута;
- приемно-сливного устройства.

В мазутонасосной размещены:

- шесть основных насосов I-го подъема типа 8НД-6х1 с подачей 120 м³/ч, напором 60 м с электродвигателем мощностью 75 кВт;
- шесть основных насосов II-го подъема типа НПС-200-700 с подачей 160 м³/ч, напором 400 м с электродвигателем мощностью 315 кВт;
- два насоса рециркуляционных типа 10НД-6х1 с подачей 400 м³/ч, напором 60 м с электродвигателем мощностью 125 кВт;
- два конденсатных насоса К80-50-200 с подачей 50 м³/ч и два дренажных насоса типа 12НА-9х4 с подачей 80 м³/ч;
- шесть основных подогревателей мазута (четыре типа ПМ10-120 и два типа ПМР13-120), два рециркуляционных подогревателя мазута типа ПМ 10-120;
- шесть фильтров мазута "грубой" очистки и десять фильтров "тонкой" очистки.

Склад мазута состоит из пяти металлических заизолированных резервуаров вместимостью по 20000 м³/ч.

Приемно-сливное устройства состоит из двухпутной сливной эстакады, предназначенной для приема 52 цистерн грузоподъемностью до 60 т, двух приемных емкостей вместимостью 600 м³/ч каждая, на которых установлено по два перекачивающих погружных насоса типа 20НА-22х3 с подачей 550 м³/ч, напором 60 м с электродвигателем мощностью 160 кВт.

Максимальная производительность мазутонасосной (с учетом рециркуляции) составляет 400 т/ч.

Газовое хозяйство

Газовое хозяйство состоит из:

- внеплощадных газопроводов высокого давления I-ой категории;
- газорегуляторного пункта № 1 (ГРП-1) пропускной способностью 262000 м³/ч;
- газорегуляторного пункта № 2 (ГРП-2) пропускной способностью 450000 м³/ч;
- газопроводов высокого и среднего давления на площадке ТЭЦ и газового оборудования котельного отделения главного корпуса.

ГРП-1 и ГРП-2 работают параллельно на общие газопроводы

Литература

1. Минскэнерго – Минская ТЭЦ-4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minskenergo.by/filialy/minskaya-tets-4/> – Дата доступа: 20.09.2020

УДК 621.184.44

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

Мартинчук Ю.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

У котельных на таком виде топлива как газ имеются хорошие технико-экономические показатели, так при сжигании газа отсутствует составляющая неполноты сгорания, чего не скажешь о котельных на твердом топливе. Но потери теплоты с уходящими газами значительны и в котлах без хвостовых поверхностей доходят до 25%.

В продуктах сгорания от котлов, работающих на природном газе, содержится большое количество водяных паров, что говорит о высоком потенциале для утилизации тепла, так как при конденсации выделяется значительное количество тепла. Если говорить о твердом топливе, то влагосодержание дымовых газов не велико и на него оказывает влияние в большей степени влажность самого топлива.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что на котельных, работающих на природном газе, необходимо использовать конденсаторы дымовых газов. Принципиально конденсатор дымовых газов выглядит следующим образом, представленном на рисунке 1:

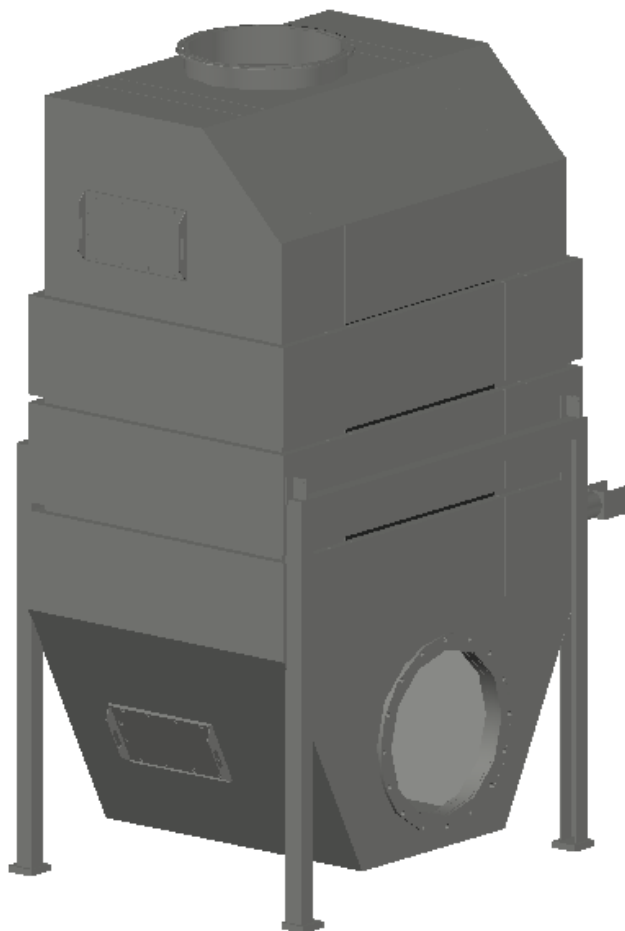


Рисунок 1 – Конденсатор дымовых газов

С целью повышения эффективности схемы используют конденсаторы двух типов:

- контактный;
- поверхностный.

Значительное отличие в вышеперечисленных типах конденсаторов дымовых газов состоит в следующем: в контактном типе нагреваемая среда является лишь промежуточным теплоносителем, что приводит к необходимости установки вспомогательного теплообменного аппарата. В бесконтактном же типе нагреваемая среда выступает в роле финального теплоносителя.

Первый тип конденсаторов дымовых газов представляет собой контактный теплообменный аппарат. В таких конденсаторах промежуточная нагреваемая среда (вода) вступает в непосредственный контакт с дымовыми газами.

Суть их работы состоит в том, чтобы теплотой дымовых газов нагреть воду (а это значит полезно использовать ВЭР), при этом охлаждая дымовые газы ниже точки росы и используя содержащуюся в них скрытую теплоту парообразования водяных паров. Также возможно использования конденсата, выделившегося из продуктов сгорания, в качестве питательной воды для котлов, но предварительно дегазируя его.

Сама вода, нагреваемая в конденсаторе дымовых газов, чаще всего используется в качестве подпиточной воды, реже используются для нужд горячего водоснабжения.

Контактные конденсаторы дымовых газов в свою очередь подразделяются на:

- контактные с пассивной насадкой;
- контактные с активной насадкой;
- контактные без насадки.

В конденсаторах с пассивной насадкой присутствует теплообменник. С помощью него не происходит прямого контакта дымовых газов и нагреваемой среды. В конденсаторе дымовых газов присутствует насадка, на которой и осуществляется теплообмен, сама насадка представляет собой кислотоупорные керамические кольца.

Конденсатор имеет вертикальное расположение. Среды в нем движутся противоточно, а именно дымовые газы подаются снизу, и поступают под насадку, а вода – сверху. Вода подается с помощью водораспределителя. Вода в виде тонкой пленки стекает по насадке, тут и происходит теплообмен, как было сказано выше. Отдавшие свое тепло дымовые газы выводятся из верхней части конденсатора, а вода проходит в низ конденсатора.

Конденсатор с активной насадкой состоит из активной насадки и системы орошения. Тут насадка представляет собой пучок водоохлаждаемых труб. Здесь также присутствуют несколько потоков воды: очищенной, которая подогревается через теплопередающую поверхность, и орошающая, которая нагревается в результате контакта с дымовыми газами. Чистый поток протекает внутри трубок и отделен от грязного потока орошающей воды.

Но при применении контактных конденсаторов вода может насыщаться CO_2 и O_2 , что плохо влияет на коррозионные свойства. Поэтому для улучшения этих свойств производят деаэрацию. Необходимость проведения деаэрации затрудняет процесс использования контактных конденсаторов.

Поэтому получили распространение поверхностные конденсаторы дымовых газов. Теплообмен здесь производится через стенку. Поверхностные конденсаторы также позволяют нагреть поток нагреваемой воды до более высоких температур, а сами дымовые газы охлаждаются до 40°C .

Такие конденсаторы дымовых газов представляют собой вертикальный или горизонтальный корпус, внутри которого располагается пучок труб.

Литература

1. Аронов, И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных / И.З. Аронов. – Москва: Энергия, 1967. – 192 с..
2. Беспалов, В.В. Технологии глубокой утилизации тепла дымовых газов / В.В. Беспалов // Энергетика Татарстана. – 2015. – №2(38). – С. 32–36.
3. Свиридов, Н.Ф. Установка утилизации тепла дымовых газов / Н.Ф. Свиридов, Р.Н. Свиридов, И.Н. Ивуков, Б.Л. Терк // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 8. – С.29–31.

УДК 697.328

ТЕПЛОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Мартинчук А.Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

Баки-аккумуляторы горячей воды – это резервуары, применяемые для обеспечения пиковых нагрузок потребления за счет накапливания горячей воды во время низкого потребления горячей воды с целью выравнивания графика нагрузок и снижения затрат на теплоисточник, трубопроводы горячей воды и др. Бак-аккумулятор является одним из важнейших оборудований тепловых узлов.

При эксплуатации газовых котлов или котлов на твердом топливе бак-аккумулятор обеспечивает оптимальное использование продуктов горения. При использовании бака совместно с электрическим котлом аккумулярование горячей воды осуществляется как правило в ночные часы, когда тариф на электроэнергию имеет наименьшее значение. В дневное время накопленная за ночь горячая вода поступает на нужды теплоснабжения, что существенно снижает затраты на производство горячей воды.

Также целесообразно использовать теплоаккумуляторы при осуществлении теплоснабжения с помощью альтернативных источников энергии. Применение баков-аккумуляторов помогает устранить главный минус альтернативных источников энергии – их периодичность. Таким образом, применение баков-аккумуляторов в системах теплоснабжения позволяет использовать различные источники энергии экономически целесообразно.

Аккумулярование тепловой энергии в баках-аккумуляторах может осуществляться различными способами. В зависимости от типа процесса, протекающего в теплоаккумуляторе, различают:

- тепловые емкостные аккумуляторы;
- аккумуляторы теплоты фазового перехода;
- аккумуляторы теплоты на основе термохимических реакций.

В первом типе баков аккумулярование тепловой энергии осуществляется рабочим телом (может быть как твердым, так и жидким) за счет изменения температур вещества. Тепловые емкостные аккумуляторы являются простейшими из трех вышеперечисленных, однако они имеют низкую эффективность.

Во втором типе теплоаккумуляторов, аккумулярование тепловой энергии осуществляется за счет теплоты фазового перехода затвердевание – плавление, который можно реализовать в достаточно узком диапазоне температур. Данные баки-аккумуляторы считаются более эффективными, однако более конструктивно сложными и дорогими.

Третий тип баков аккумуляруют тепловую энергию за счет использования обратимых химических реакций. Данный тип наиболее эффективен, однако требует создания более сложных и дорогих конструкции аккумуляторов.

Аккумулярующий бак представляет собой горизонтальный или вертикальный цилиндрический сосуд. Один из вариантов исполнения бака-аккумулятора изображен ниже на рисунке 1. Конструкция баков определяется

необходимым объемом запаса горячей воды и местом установки аккумуляторного бака. Таким образом, если имеются ограничения пространства в месте установки бака, наилучшим вариантом являются аккумуляторы теплоты на основе термохимических реакций ввиду наибольшей эффективности, а как следствие меньших габаритных размеров бака.



Рисунок 1 – Внешний вид теплоаккумулятора

К бакам-аккумуляторам также относятся так называемые аккумуляторы холода. Применяются аккумуляторы холода совместно с холодильными установками и предназначены для аккумулирования холодоносителя, используемого в них.

Аккумулирование холода с помощью баков-аккумуляторов холода позволяет снизить нагрузку на компрессор в случаях пикового потребления

холода, сгладить нагрузку на холодильную установку в случаях ее работы в режиме включено/выключено.

Баки-аккумуляторы холода могут устанавливаться для совместной работы как с холодильными машинами, так и с тепловыми насосами в режиме холодоснабжения.

При использовании бака-аккумулятора холода также целесообразным является аккумулярование холода в ночные часы, когда тариф на электроэнергию имеет наименьшее значение. Аналогично теплоаккумуляторам в дневное время накопленный за ночь холодоноситель поступает на нужды холодоснабжения, что существенно снижает затраты, связанные с потреблением электроэнергии по дневным тарифам.

Литература

1. 10 международная конференция «Экологическая инженерия», 27-28 апреля 2017 г. : материалы конф. / Вильнюс. техн. ун-т им. Гедиминаса. – Вильнюс : ВГТУ, 2017 – 8 с.
2. Назначение и классификация тепловых аккумуляторов // Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16892>. – Дата доступа: 17.07.2020
3. Что такое теплоаккумулятор и зачем он нужен // Termobak [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://termobak.com/chto-takoe-teplovoj-akkumulyator>. – Дата доступа: 17.07.2020

УДК 621.311

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО СБЕРЕЖЕНИЮ ТЭР
НА ОАО «УКХ БОБРУЙСКАГРОМАШ»**

Борбуш А.Л.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бобич А.А.

На предприятии ОАО «УКХ Бобруйскагромаш» ведется целенаправленная работа по совершенствованию технологических процессов, внедрению энергоэффективных и экологически чистых технологий, снижению энергозатрат на вспомогательные процессы: выработку тепловой энергии, сжатого воздуха, обеспечение производств оборотной водой. Планируемые мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) внедряются в основном в полной мере, что ведет к плановой экономии ТЭР.

Основными составляющими общего производственного баланса потребления ТЭР являются: электрическая энергия 49%, в меньшей степени тепловая энергия 38,4%.

Наиболее энергоемкими подразделениями основного производства являются:

- механосборочный цех (МСЦ): 31,3 % годового производственного потребления электрической энергии;
- заготовительно-прессовый цех (ЗПЦ): 11,1 % годового производственного потребления электрической энергии;
- сборочно-окрасочный цех (СОЦ): 11,1 % годового производственного потребления электрической энергии;
- сборочно-сварочный цех (ССЦ): 7,8 % годового производственного потребления электрической энергии.

Основными потребителями электрической энергии на предприятии являются: технологическое оборудование (прессовое оборудование, сварочное оборудование, термические печи, гальваническое оборудование, высокочастотные установки, станки), а также, двигатели компрессорных установок, насосы, вентиляторы. На данные потребители обращено основное внимание по вопросу энергосбережения:

- на предприятии уже ведется замена энергоемких сварочных выпрямителей на инверторные, предлагается дальнейшая замена выпрямителей на энергосберегающие;
- предлагается замена двух шахтных цементационных печей на энергосберегающие;
- установка двух винтовых компрессоров с осушителями воздуха и частотным преобразователем, вместо энергоемкого поршневого компрессора 4ВМ 100/8 на центральной компрессорной станции;

Тепловая энергия поступает на предприятие в виде перегретого пара и сетевой воды. Отказ от использования пара в технологии позволяет снизить энергопотребление за счет энергозатрат на потери при транспортировке пара, на разогрев трубопроводов, оборудования и др. Однако, предприятие расположено в непосредственной близости от поставщика пара: БТЭЦ-2.

Полный уход предприятия от пара негативно отразится на экономичности работы БТЭЦ-2.

Обогрев производственных корпусов, в основном, предусмотрен путем комбинированной системы отопления. По результатам энергетического обследования предлагается установить инфракрасные излучатели в механосборочном цехе (МСЦ).

Среди резервов экономии тепловой энергии на нужды отопления и вентиляции рассмотрены следующие направления:

- тепловая реабилитация ограждающих конструкций зданий;
- снижение инфильтрации воздуха в помещении;
- внедрение автоматических систем регулирования тепловой энергии.

На технологические нужды топливо (природный газ) используется: в кузнечных газовых печах и газовых сушильных камерах линии окраски. Предложены два направления реконструкции газовых печей:

- проведение модернизации печей с установкой современного газового оборудования, рекуператоров на подогрев дутьевого воздуха на горелки (до $t = 250-300$ °С), улучшение теплоизоляции и др. При этом необходимо определить оптимальный режим работы, что позволит значительно снизить потребление топливного газа, при этом КПД печи достигнет 30 %.
- установка новых современных кузнечных печей.

В первую очередь необходимо реализовать малозатратные мероприятия. Затем необходимо реализовать мероприятия с малым сроком окупаемости и значительным экономическим эффектом.

Как было указано выше, на заводе вопросам по энергосбережению уделялось, и уделяется серьезное внимание. На данный момент малозатратных мероприятий со значительным экономическим эффектом практически нет. Дальнейшее развитие предприятия предполагает вложение больших денежных средств для внедрения новейших технологий в производство, которые в конечном итоге приведут к снижению потребления ТЭР.

Литература

1. Соколов Е. Я. Тепловые сети: учебник для вузов. 2-е изд. Перераб. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956 – 236 с.
2. Теплоснабжение. Котельное оборудование: Справочное пособие для персонала, обслуживающего тепловое оборудование / авт.-сост- Л.С. Овчинников. – Мн.: Дизайн ПРО, 2007. – 432 с
3. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, Минск, Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, 2019
4. Инструкция по нормированию расходов топливно-энергетических ресурсов для котельных номинальной производительностью 0,5 Гкал/ч и выше. Мн.: Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь, 2002.

УДК 621.57

**АБСОРБАЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ КАК ЗАМЕНА
КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Вашилов С.А., Кот А.С., Станкевич П.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Часто на предприятиях можно столкнуться со сбросовой тепловой энергией, а также и потребностью в холоде, которую зачастую обеспечивают компрессорные холодильные машины. В настоящее время самым эффективным и экономичным решением будет установка АБХМ вместо парокомпрессионных холодильных машин. Кроме экономии электроэнергии, вместо которой будет использоваться тепловая энергия, которая идет на утилизацию, АБХМ имеет следующие преимущества:

- В системе нет высокого давления;
- Очень высока надежность установки;
- Обслуживание самой машины довольно дешевое, что обусловлено более простой конструкцией;
- Отсутствие больших движущих частей;
- Экологически безопасное использование за счет экологических хладагентов;
- Отсутствие вибрации и пониженный шум установки при работе;
- Высокая экономия.

Несмотря на все преимущества, так же стоит обратить внимание на недостатки АБХМ:

- Большие капитальные затраты;
- Высокие затраты электроэнергии на работу насосов;
- Низкий холодильный коэффициент;
- Увеличенное потребление воды системой.

АБХМ бывают трех типов: одноконтурные, двухконтурные и трехконтурные. Мощность одноконтурных АБХМ варьируется от 25 до 5000кВт. В двухконтурных АБХМ происходит более эффективное использование тепловой энергии и выделение хладагента. В трехконтурных АБХМ еще более эффективное использование, однако их стоимость намного выше, что для каждого предприятия индивидуально.

Так же АБХМ имеет намного меньший срок окупаемости, при одних и тех же нагрузках, чем компрессорные холодильные машины. АБХМ является самым экономически выгодным решением данной проблемы.

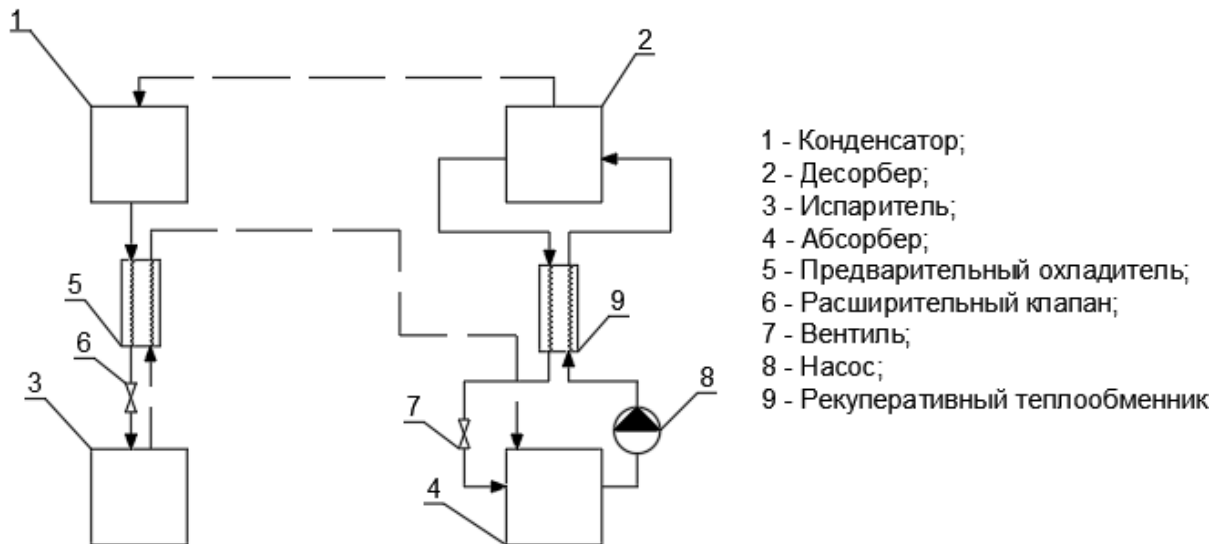


Рисунок 1 – Принципиальная схема АБХМ.

Литература

1. Абсорбционные холодильные машины. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/211/Absorbtsionnie_holodilnie_mashini Дата доступа: 20.09.2020
2. Абсорбционные холодильные машины. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://manbw.ru/analytics/absorbition_chillers_absorptive_refrigerators-ABHM.html Дата доступа: 20.09.2020

УДК 621.64

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ НА ПИРМЕРЕ «СЛУЦКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ»

Ипатюк Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Прокопеня И.Н.

С недавних пор стало актуально и выгодно производить замену обычных чугунных, стальных, керамических и бетонных труб на полимерные трубы. Такие трубы имеют более низкие потери, что позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы.

Трубы преимущественно состоят из полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида. Полимерные трубы редко засоряются благодаря гладкости стен, практически не накапливая жировые отложения, в отличие от чугунных труб.

К основным достоинствам можно отнести:

- более высокая пропускная способность;
- прочность;
- пригодность к использованию в наружных и внутренних сетях;
- долговечность;
- изготовлены из диэлектрического материала;
- стойкость к температурным перепадам.

Трубы из полимерных материалов могут иметь разное назначение. Основными являются:

- подача газа;
- канализация;
- снабжение на ГВС и отопление;
- подача холодной воды;
- прокладка кабеля;
- дренажные перфорированные трубы.

В городе Слуцк в межотопительный период 2019 года была произведена замена тепловых сетей, ранее положенных черных труб, на полимерные трубы.

Заменяемые диаметры и длины труб:

Ф 300 мм – L = 280 м = 0,28 км.

Ф 150 мм – L = 1236 м = 1,236 км.

Ф 100 мм – L = 2801 м = 2,801 км.

Ф 50 мм – L = 2683 м = 2,683 км.

Суммарная длина составляет 7000 м.

Для расчета использовалась таблица 1 энергетической эффективности подземных трубопроводов.

Таблица 1 – Энергетическая эффективность подземных трубопроводов

Ф/мм	Традиционные подземные теплопроводы				ПИ теплопроводы			
	Энергопотери				Энергопотери			
	Вт/м	Гкал/ч км	Гкал/год км	Т.У.Т./год км	Вт/м	Гкал/ч Км	Гкал/год км	Т.У.Т./год км
50	75	0,065	325	55,3	29	0,025	125	21,3
100	102	0,088	440	74,8	38	0,033	165	28,1
150	125	0,108	540	91,8	51	0,044	220	37,4
300	196	0,166	830	141,1	63	0,054	270	45,9

Фактическая экономия топлива по участкам тепловой сети для каждого диаметра составила:

$$\Phi 300 \text{ мм} - (141,1 - 45,9) = 65,9 \cdot 0,28 = 18 \text{ т.у.т.}$$

$$\Phi 150 \text{ мм} - (91,8 - 37,4) = 54,4 \cdot 1,236 = 67 \text{ т.у.т.}$$

$$\Phi 100 \text{ мм} - (74,8 - 28,1) = 46,7 \cdot 2,801 = 131 \text{ т.у.т.}$$

$$\Phi 50 \text{ мм} - (55,3 - 21,3) = 34 \cdot 2,683 = 91 \text{ т.у.т.}$$

Итого: 307 т.у.т.

В денежном выражении при стоимости на 2019 год 1 т.у.т. = 215 у.е. (курс 1 у.е. = 2,126 р.), что составляет 140000 б.р.

Затраты на перекладку составляют 1061000 б.р.

Срок окупаемости мероприятия: $1061000/140000 = 7,57$ года.

Такой не сложный расчет показывает ориентировочную экономию топливно-энергетических ресурсов на предприятии при замене стальных труб на полимерные предизолированные и простой срок окупаемости данного мероприятия.

Литература

1. Соколов Е. Я. Тепловые сети: учебник для вузов. 2-е изд. Перераб. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956 – 236 с.
2. Теплоснабжение. Котельное оборудование: Справочное пособие для персонала, обслуживающего тепловое оборудование / авт.-сост- Л.С. Овчинников. – Мн.: Дизайн ПРО, 2007. – 432 с
3. <https://www.polyplastic.ru/stati/polimernye-truby>

УДК 621.646.4

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБИН ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Губар Е.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

На различных предприятиях в технологических циклах используется водяной пар различного давления. Зачастую пар используется на предприятиях в большом количестве, однако на производстве требуется водяной пар с параметрами значительно ниже, чем параметры водяного пара после котла. Для обеспечения производства водяным паром с требуемыми параметрами необходимо понизить давление и температуру водяного пара. В основном в таких случаях прибегают к использованию редукиционно-охладительных установок «РОУ». Что в свою очередь является экономически не выгодным решением для предприятий с большим потреблением водяного пара. Так как в РОУ температура пара снижается за счёт впрыска воды или пароводяной смеси, которая переходит в состояние водяного пара, забирая часть тепла основного потока пара для собственного парообразования.

Одним из наиболее эффективных способов экономии является замена РОУ на турбину с противодавлением. Данное решение позволяет значительно эффективнее использовать потенциал водяного пара, который производит предприятие, а также частично или полностью обеспечить потребность предприятия в электричестве.

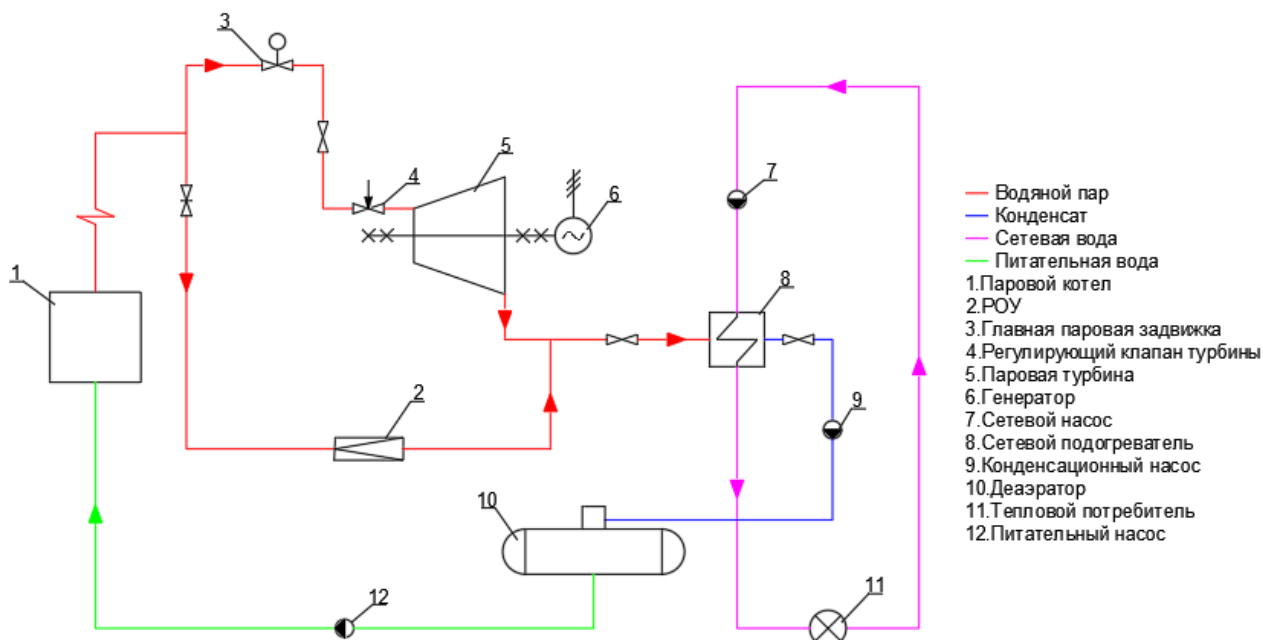


Рисунок 1 – Принципиальная схема паровой турбины вместе с редукиционно-охладительной установкой

Целесообразнее использовать энергосберегающие турбины при модернизации котельных с распространенными паровыми котлами с выходным давлением водяного пара 0,8-4,0 МПа, а именно с давлением водяного пара значительно выше, чем требуемое давление для нужд производства (0,4-0,12

МПа). Исходя из параметров производимого и требуемого водяного пара мы теряем большое количество потенциальной энергии водяного пара.

К примеру, на предприятии установлен паровой котел с параметрами водяного пара на выходе 13 bar и расходом 10 т/час, а для технологии требуется давление пара 4 bar, то устанавливается **редукционная установка (РОУ)**, которая снижает давление с 13 атм. до 4 атм. При этом бесполезно теряется потенциальная энергия водяного пара. Если вместо РОУ установить энергосберегающую турбину, то будет получен источник электроэнергии мощностью около 250 кВт.

Вырабатываемая электроэнергия турбиной будет служить для покрытия собственных нужд данного предприятия. Однако основной задачей по-прежнему модернизированной котельной остается выработка тепла, а электроэнергия, получаемая в турбине является сопутствующим полезным продуктом. Стоимость такой электроэнергии будет в 3-7 раз ниже, чем при покупке ее из энергосистемы. Такая модернизация значительно повысит технико-экономические показатели данной котельной и стать дополнительной статьей доходов.

Литература

1. Замена редукционно - охладительной установки (РОУ). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.turbopar.ru/stati/356-turbina-vmesto-rou.html>. Дата доступа: 20.09.2020
2. Замена редукционно - охладительной установки (РОУ) на энергосберегающую турбину. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/НИИТ/2018/НИИТ/pages/Articles/618.pdf>. Дата доступа: 20.09.2020

УДК 004.925.8

**ОБЗОР НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ**

Сырица Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Матявин А.А.

На современном рынке существует большое количество САПР, которые решают разные задачи. В данной статье мы отметим некоторые положительные и отрицательные стороны наиболее распространенных систем автоматизированного проектирования в области 3D моделирования.

3d Max. Программный продукт, направленный исключительно на 3D анимацию и динамику. Включает в себя инструменты анимации, 3D – рендинга и 3D моделирования. Интуитивно понятный интерфейс, который даже на начальных этапах позволяет создавать наипростейшие 3D модели. Для создания сложных моделей требуется углубленное изучение программы. К основным отрицательным моментам следует отнести высокие требования к ПК, а также проблематичность использования программы для построения моделей в рамках инженерных задач.

3d Autocad. Наиболее распространенное программное решение для 2D и 3D моделирования. Менее требовательная к мощности ПК в сравнении с программами конкурентами. В рамках 3D моделирования используется в строительной и машиностроительной отраслях, в ряде случаев в архитектурной отрасли на начальных этапах создания 3D объектов. К главному минусу данной программы следует отнести невозможность привязки информации к графическим объектам, для последующего создания как семейств объектов, так и классов, подклассов.

Revit. Оптимальное решение для задач связанных с 3D. Имеет отлаженную связь между 2D и 3D моделями, с последующим созданием аналитических моделей. Наиболее обширная база данных готовых объектов для каждой из отрасли. Полная синхронизация со всеми продуктами Autocad. К основным недостаткам относят сложность в освоении программы для создания инженерных 3D моделей и высокие требования к устройствам использующихся для 3D моделирования и визуализации в данной программе.

Подводя итоги, следует отметить, что все 3 программы активно используются для создания, моделирования 3D объектов, однако выбор последних зависит от инженерных задач, поставленных перед исполнителем, а также уровень его подготовки.

Литература

1. Опыт использования Revit <https://archtutors.org/revit-autocad/> – Дата доступа 09.10.2020
2. Основные минусы Revit в практическом проектировании <https://dmstr.ru/articles/minusy-revit-v-realnosti/https://archtutors.org/revit-autocad/> – Дата доступа 10.08.2020
3. 3D редакторы <https://habr.com/ru/post/136350/> – Дата доступа 17.09.2020

4. Система проектирования 3D Max[<http://timedigital.org/sistema-proektirovaniya-v-revit-i-3ds-max/> – Дата доступа 25.09.2020
5. Опыт использования 3d Max <https://archtutors.org/kak-3ds-max-stal-programмой-1-v-moeу-zhizni/> – Дата доступа 14.09.2020
6. Наиболее оптимальный софт для 3D моделирования https://www.softmagazin.ru/blog/archicad_ili_autocad_sravnenie_sapr/ – Дата доступа 02.10.2020

УДК 620.9

ПРИНЦИП РАБОТЫ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Матус Е.В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосюк Н.А.

Биогазовые установки (БГУ) применяются для получения органического топлива – биогаза и высококачественных удобрений. При этом обеспечивается необходимая утилизация биологических отходов. Дальнейшее использование биогаза обеспечивает выработку тепло-, электроэнергию, а также топлива для транспортных средств.

Биогаз является результатом распада органического сырья и образовывается в процессе брожения без доступа кислорода, другими словами, в анаэробных условиях. На таком принципе и основана работа биогазовых установок (рисунке 1).

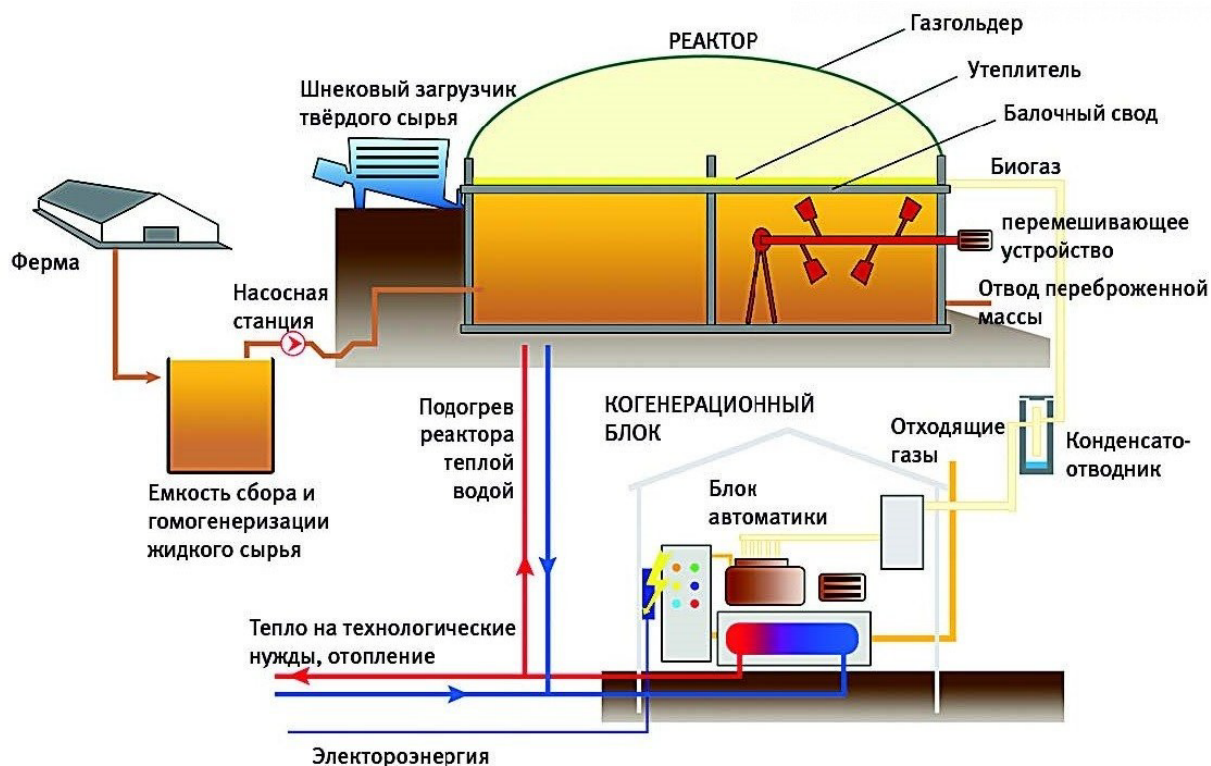


Рисунок 1 – Схема работы биогазовой установки

В качестве сырья используются продукты жизнедеятельности домашнего скота и птицы, пищевые отходы, отходы лесопереработки, энергетически потенциальные растения. При подаче сырья в накопительную емкость твердые отходы предварительно измельчаются, жидкие продукты перекачиваются насосами, а затем масса разводится водой до влажности выше 97%. Подготовленная биомасса попадает в основную часть биореактора – метантенк.

Основными требованиями, предъявляемыми к биореактору, являются: абсолютная герметичность, кислотостойкость и надежность. Резервуар может изготавливаться из стали, бетона или из нескольких материалов [1]. Внутреннюю поверхность метантенка покрывают сплошным слоем обмазочной

битумной гидроизоляции, а на вершине газгольдера монтируют герметичный люк. Биогаз в метантенке образовывается благодаря жизнедеятельности разнообразных бактерий, присутствующих в органических отходах.

Для эффективной работы биогазовой установки необходимо создать оптимальные условия для микроорганизмов. В зависимости от температурного режима реактора биогаз может получаться различными методами представленными на рисунке 2 [2].



Рисунок 2 – Методы получения биогаза

Исходя из этих данных, оптимальной считается температура в биогазовом реакторе 37-40°C. Для обеспечения такого температурного режима биореактор оснащается теплоизоляционной конструкцией, а также устройствами подогрева и перемешивания биомассы.

Подогрев сооружений биогазовой установки осуществляется с помощью теплообменников, а также газовых котлов, которые работают на биогазе, на природном газе и на смеси, электрических котлов. Для снижения затрат на прогрев массы реактор вкапывают в землю. Для утепления на дно засыпается песок, затем укладывается слой теплоизоляции, например: глина, керамзит, солома или смесь. Существует несколько вариантов материалов для утепления стенок биореактора (рисунок 3).



Рисунок 3 – Варианты утепления стенок биореактора

Перемешивающие устройства биогазового реактора изготавливаются для работы во взрывоопасной и одновременно агрессивной среде. Система перемешивания состоит из вертикального вала и установленных на нем лопастей. При вращении лопасти создают направленное движение содержимого, благодаря чему и происходит перемешивание слоев. Работа устройства обеспечивается за счет электрического привода, при этом все токоведущие части защищены изоляционной мембраной. Кроме этого встречаются устройства с гидравлическим перемешиванием, в которых готовый субстрат подается через днище под большим давлением, благодаря чему возникают вихревые возмущения, перемешивающие содержимое. Такая система может быть применена только там, где отношение суточной порции субстрата ко всему содержимому метантенка не превышает 1:10. Процесс образования биогаза в метантенке проходит в 4 этапа (рисунок 4) [3].



Рисунок 4 – Фазы образования биогаза

Для поддержания выработки биогаза на высоком уровне, нужно вовремя удалять отходы этого процесса (техническую воду и сапрпель). Система сброса технической воды должна содержать необходимую емкость и периодически открываемый сливной клапан. Отработанная вода может быть использована для полива и разведения подкормок. На дне метантенка скапливается сапрпель, который необходимо удалять в специально подготовленное хранилище. Сапрпель содержит ряд органических и неорганических веществ, поэтому его можно использовать в качестве удобрения почвы.

Выделенный биогаз скапливается в верхней части биореактора, откуда через реагирующий на определенное давление клапан поступает в основной газгольдер. Газгольдер изготавливается из листового металла, стали, кирпича, оббитого стальной сеткой и штукатуркой, герметичного полиэтиленового мешка. Из-под купола газгольдера газ отводят по трубопроводу в емкость с водяным затвором. Толщина водного слоя над выходом трубки определяет рабочее давление в реакторе и обычно составляет 250–400 мм. После

гидрозатвора газ может использоваться в отопительном оборудовании и для приготовления пищи.

Ценный продукт – биогаз на 50–60 % состоит из метана, примерно 35 % занимает углекислый газ, оставшиеся 5 % приходятся на водород, азот, сероводород и другие газы [1]. В неочищенном состоянии биогаз обладает малой теплотворной способностью, поэтому в биогазовых установках применяются очистные устройства, удаляющие углекислый газ и сероводород. Благодаря этому доля метана достигает 94–97 %, что делает биогаз сопоставимым с природным и сжиженным газом. Снижение концентрации углекислоты в газе обеспечивается специальным оборудованием, основанном на химической абсорбции или полупроницаемых мембранах. Такое очищение также достигается путем пропускания газа через толщу воды. Газ распыляется на мелкие пузырьки через трубчатые аэраторы, а насыщенная углекислотой вода периодически отводится и может использоваться в системах гидропоники. Углекислый газ также можно устранить, если засыпать в гидрозатвор гашеную известь, однако ее необходимо периодически менять. Сероводород удаляют с помощью емкостей-фильтров, заполненных металлической стружкой.

Для обогащения биогаза применяются устройства снижения влажности газа. Для этого устанавливаются дополнительные гидрозатворы, устраняющие конденсат. Однако такое мероприятие влечет необходимость использования системы слива воды. Другим вариантом является использование Z-образной трубки, заполненной силикагелем. В этом случае требуется периодическое осушение силикагеля, например, путем его прогрева.

Очищенный и обогащенный биогаз эффективно можно использовать для работы двигателей внутреннего сгорания.

В случае не использования определенного запаса биогаза в газгольдере на крупном производстве могут предусматриваться установки сжижения. Сжиженный газ при одинаковом объеме хранилища занимает меньше места, чем биогаз. Процесс сжижения происходит за счет охлаждения газа и перехода из газообразного состояния в жидкое. Сжиженный газ поступает в специальный газгольдер, который изготавливают из высокопрочной стали, а также тщательно утепляют, так как давление внутри газгольдера зависит не только от количества сжиженного метана, но и от его температуры. Такой газгольдер позволяет в летние месяцы делать запас сжиженного метана, который можно использовать зимой, компенсируя им недостаточную выработку биогаза. Кроме того, сжиженный газ подходит для заправки автомобилей и иной техники.

Из газгольдера биогаз поступает в когенерационную установку (КГУ) для получения тепловой и электрической энергии. Электроэнергия вырабатывается генераторами, привод которых осуществляют газопоршневые двигатели, работающие на биогазе. Генерируемая электроэнергия обеспечивает питание электрооборудования самой БГУ, а все сверх этого отпускается потребителю. Энергия жидкости, идущей на охлаждение когенераторов, может быть частично использована для обогрева биогазового реактора. Для обеспечения потребителя тепловой энергией на БГУ устанавливается котел, который также может быть использован для подогрева биомассы в метантенке.

Качественный и надежный процесс образования биогаза и выработки электро- и теплоэнергии обеспечивается с помощью автоматизированной системы управления. Система включает в себя датчики, отслеживающие состояние и работоспособность всех устройств, входящих в систему, и позволяет своевременно выполнить необходимые действия.

Литература

1. Биогазовая установка. Устройство и принцип работы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yazemledelec.ru/zhivotnovodstvo/108-biogazovaya-ustanovka-> – Дата доступа: 19.10.2020
2. Копытин, В. Ю. Недостатки и преимущества существующих биогазовых установок / В. Ю. Копытин, Д. А. Пивнов // Молодой ученый. [Электронный ресурс] 2020 – № 5 (295). – С. 84-85. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/295/66991/> – Дата доступа: 24.10.2020
3. Устройство, преимущества и недостатки, проектирование биогазовых установок. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dom-i-remont.info/posts/gazosnabzhenie/ustrojstvo-preimushhestva-i-nedostatki-proektirovanie-biogazovyh-ustanovok/> – Дата доступа: 20.10.2020

УДК 547.3

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Василевская В.В., Лихтар Д.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосюк Н.А.

Выбросы от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) оказывают вредное воздействие на атмосферу. ТЭЦ – разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов. На данный момент в Республике Беларусь работают 38 теплоэлектроцентралей. ТЭЦ работает благодаря уникальным свойствам водяного пара, который под давлением вращает турбину теплоэлектростанций. Подробную схему работы теплоэлектроцентрали приведем на рисунке на рисунке 1 [1].

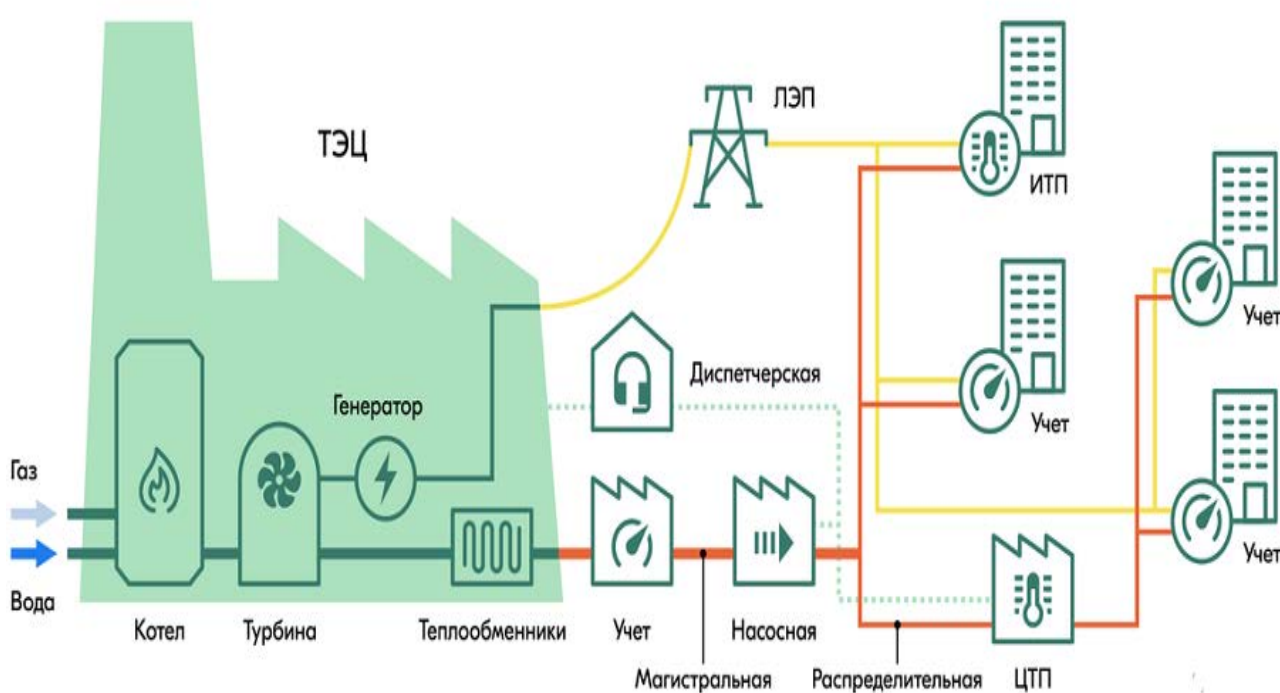


Рисунок 1– Принцип работы ТЭЦ

ИТП - индивидуальный тепловой пункт (это комплект оборудования, предназначенный для обеспечения централизованного отопления здания); ЦТП - центральный тепловой пункт (используется для обслуживания группы потребителей (зданий, промышленных объектов)).

При работе ТЭЦ образуются выбросы, загрязняющие атмосферу, биосферу района, расположенного рядом.

Таблица 1 – Выбросы в атмосферу от ТЭЦ

Наименование ингредиента	Количество, тонн	Структура, %
Сернистый ангидрид (SO ₂)	60,977	2,07
Окись углерода (CO)	448,172	15,27
Двуокись азота (NO ₂)	2084,010	70,99
Окись азота (NO)	338,653	11,54
Мазутная зола электростанций	0	0
Бен(а)пирен	0,004	1,36·10 ⁻⁴
Сажа	0,001	3,41·10 ⁻⁵
Тяжелые металлы	0,002	6,81·10 ⁻⁵
Вспомогательное производство (сварка, деревообработка, приготовление химических реагентов на ХВО, покрасочные работы, от мазутных баков, от АЗС)	3,838	0,13
ИТОГО:	2935,657	100

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить, что основную долю в структуре выбросов от ТЭЦ составляют вещества, которые выбрасываются в атмосферу, косвенно воздействуют на парниковый эффект или кислотные дожди, так как вещества, оказывают вредное воздействие только после реакций в атмосфере. Но несмотря на это, если концентрация этих веществ увеличивается в воздухе, то вредное воздействие оказывается не только на окружающую среду, но и на здоровье человека.

В настоящее время все вредные выбросы минимизируются с помощью разных фильтров, но несмотря на это много вредных веществ все же попадают в окружающую среду.

Пути для снижения вредного воздействия энергетики на воздушный бассейн приведём на рисунке 2.

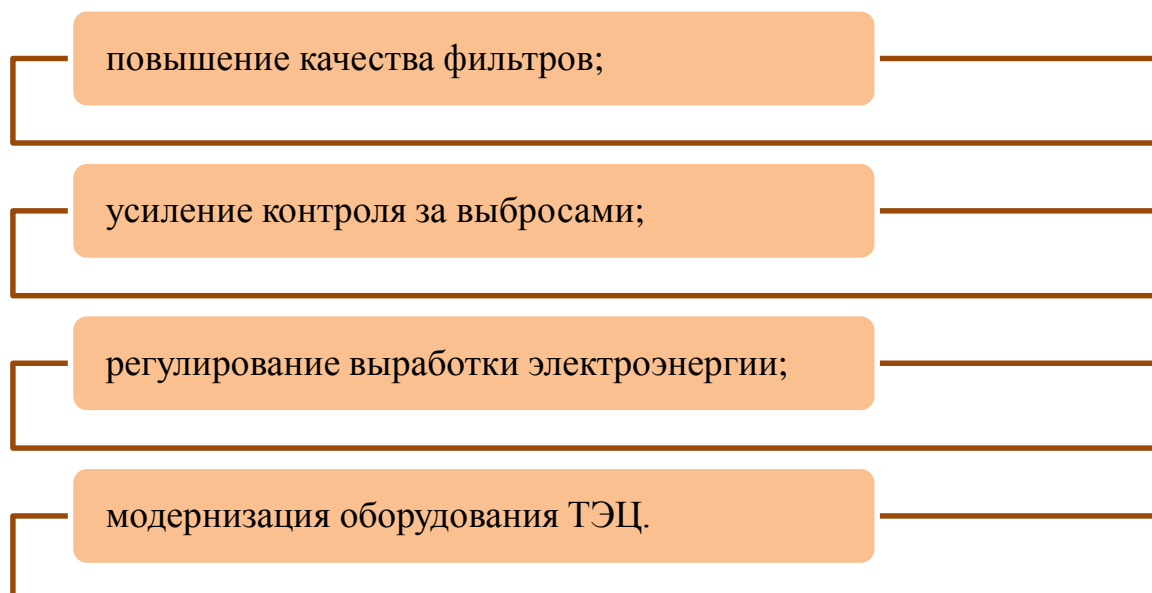


Рисунок 2 – Пути для снижения вредного воздействия энергетики на воздушный бассейн

Одним из способов сделать ТЭЦ более экологичной является улучшение фильтров. Так же для снижения выбросов в атмосферу необходимо модернизировать оборудование станций. По мере старения оборудования увеличиваются теплотери, что приводит к увеличению использования топлива и, следовательно, к увеличению выбросов.

Литература

1. Авдеенко, О. А. Влияние тепловых электростанций на окружающую среду (на примере Артемовской ТЭЦ) / О. А. Авдеенко // Влияние тепловых электростанций на окружающую среду. – 2009

УДК 620.311

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Власенко А.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосюк Н.А.

Нефтехимическая промышленность является стратегически важной отраслью Республики Беларусь. Всего в республике на данный момент открыто 79 месторождений, 61 в разработке, используются почти 900 добывающих скважин. На рисунке 1 приведем данные по производству, добыче, экспорту и импорту нефти Республики Беларусь с 2010 по 2019 год [1].

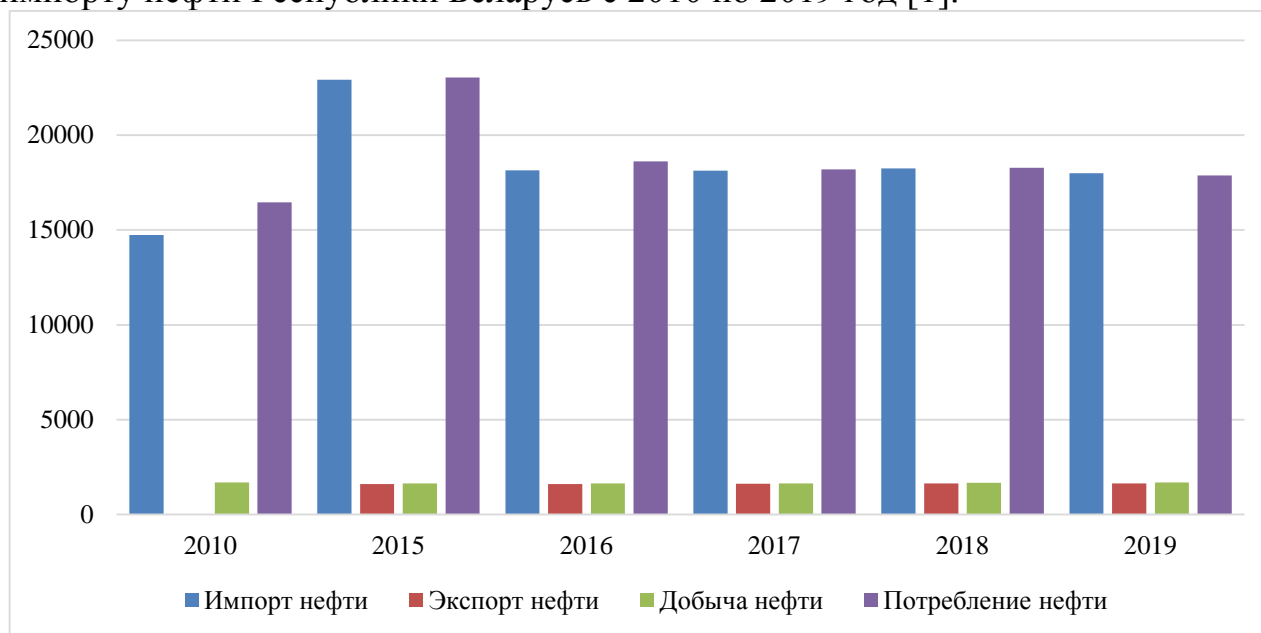


Рисунок 1 – Баланс нефти Республики Беларусь, включая газовый конденсат, 2010-2019 гг., тысяч тонн.

Добыча нефти, как видно из рисунка 1, не изменяется уже долгое время и остаётся на уровне 1,6-1,7 млн. т., что характеризует стабильность данной отрасли.

Добыча нефти сложный, трудоёмкий и достаточно дорогостоящий процесс. Это связано с тем, что нефть залегает глубоко: от 3 до 5 км в недра земли. Несмотря на это, эффективность белорусских нефтепромыслов обусловлена качеством нефти.

Республика Беларусь закупает нефть у других стран для переработки на своих предприятиях, а почти всю свою нефть отправляет на экспорт. Это выгодно государству, так как экспортная пошлина поступает в бюджет, что положительно влияет на торговый баланс страны. Импорт нефти по сравнению с 2018 г. почти не изменился (18 млн. т). Нефть экспортируется из Республики Беларусь по нефтепроводу «Дружба» на нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) Германии. Экспорт в 2019 году увеличился на 0,6% и составил почти 1,65 млн. т.

На территории республики расположены Новополоцкий и Мозырский нефтеперерабатывающие заводы, суммарной мощностью

по первичной переработке 24,0 млн. т. нефтяного сырья в год. По итогам 2019 года на НПЗ Беларуси переработано около 18 млн. т. нефтяного сырья (+0,6% к 2018 году). По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2019 году экспорт белорусских нефтепродуктов в денежном выражении составил \$5,2 млрд., сократившись на 19,7% по сравнению с 2018 г., при этом в 2019 году был резко сокращен импорт нефтепродуктов: в страну их поступило 247,4 тыс. т, что примерно в 12 раз меньше, чем в 2018 г. Одной из проблем белорусских нефтехимических предприятий является то, что производства были введены в эксплуатацию в основном в 1960-1980-х годах, и действующие технологии устарели морально и физически. Сегодня остро стоит вопрос строительства новых установок с использованием современных энергосберегающих технологий. Если не искать новые месторождения и не бурить новые скважины, то уровень добычи может упасть до 1,2–1,3 млн тонн. Так же проблемой является то, что снижается эффективность переработки нефти, поскольку почти половина выпускаемой продукции приходится на топочный мазут.

Работа нефтеперерабатывающей отрасли имеет важное значение для страны, поскольку во многом определяет ее энергетическую безопасность. Эта отрасль приносит немалую долю экспортной валютной выручки, укрепляя финансовую стабильность республики. Наступивший 2020 год стал весьма тяжелым для всего мира: COVID-19, обвал цен на мировом рынке, закрытие границ и соответственно потенциальных рынков сбыта продукции и так далее. Для Республики Беларусь 2020 год начался с проблем экспорта нефти из Российской Федерации. В начале 2020 года крупные российские нефтяные компании отказались от поставок сырья в Беларусь, так как не договорились о размерах премии. Поставки возобновились только в апреле, когда мировые цены на нефть резко снизились.

На рисунке 2 отражено изменение данных по добыче, потреблению, экспорту и импорту нефти за январь-июнь 2019 и январь-июнь 2020 годом [2].

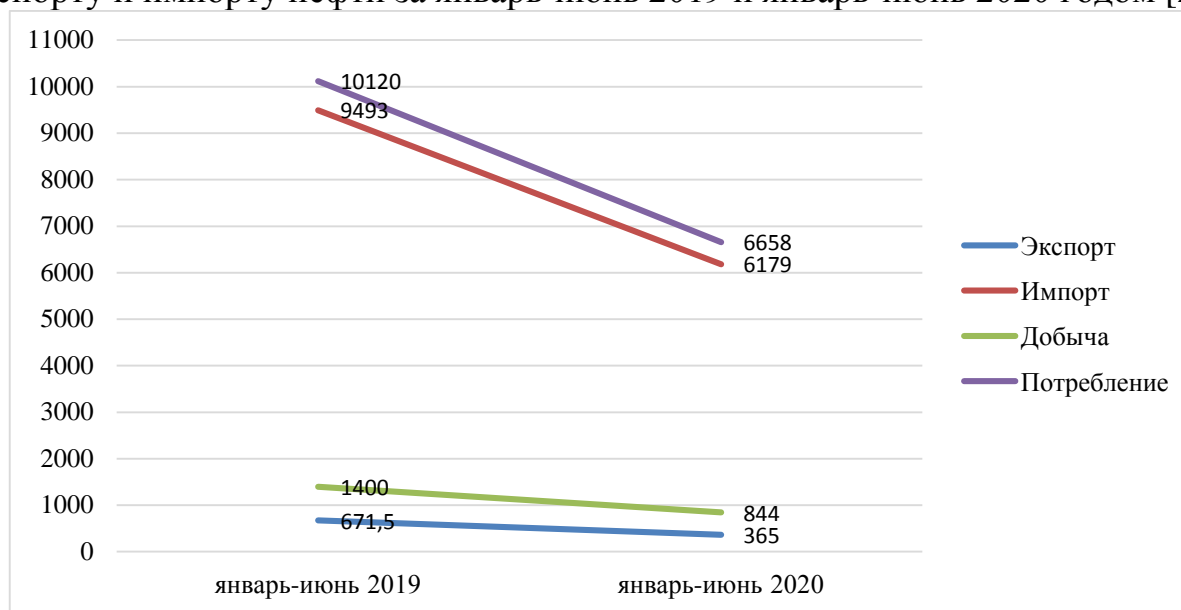


Рисунок 2 – Баланс нефти Республики Беларусь, включая газовый конденсат, за первое полугодие 2019 и 2020 гг., тысяч тонн.

Анализируя рисунок 2, можно отметить, что добыча нефти снизилась за счёт снижения работоспособности населения, вместе с ней соответственно изменились экспорт и потребление. Импорт снизился из-за ценового спора с традиционными российскими поставщиками, поэтому белорусские НПЗ перерабатывали собственную нефть до апреля.

Беларусь в январе-июле экспортировала 3,78 млн. т нефтепродуктов, что на 38,5% меньше, чем за аналогичный период прошлого года. В стоимостном выражении экспорт нефтепродуктов упал на 61,8% до \$1,2 млрд.

Не смотря на падение показателей нефтехимической промышленности, для Беларуси кризис на мировом нефтяном рынке поспособствовал успеху в переговорах с российскими компаниями-поставщиками, которые являются основными партнерами белорусских НПЗ. На настоящем этапе цена российской нефти для нашей страны составляет около 4 долларов за баррель (около 29 долларов за тонну), что примерно в 12 раз ниже расценок, по которым Беларусь закупала нефть из Российской Федерации в 2019 году. Вместе с тем, очевидно, что данный успех является ситуативным и во многом обусловлен внешними факторами.

Ряд экспертов высказывают мнение, что нефтяной рынок постепенно будет восстанавливаться, хотя ожидать стремительного роста цен на нефть в ближайшие месяцы не стоит. С началом восстановительного периода в мировой экономике спрос на нефть и её продукты возрастет, соответственно, продукция отечественной промышленности будет востребована, и Беларусь должна сделать все возможное для использования выгодного момента и создания стратегических запасов сырья.

Литература

1. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2020 [Электронный ресурс] //Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/484/484d69a59d489c53b25079a3c088e5c6.pdf> – Дата доступа: 29.10.2020.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/> – Дата доступа: 30.10.2020

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Царик О.Г.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Самосюк Н.А.

Республика Беларусь недостаточно обеспечена топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Она энергозависима от поставок из других стран, а также от цен на топливо, которые постоянно растут. Большую долю в валовом внутреннем продукте имеет энергетическая составляющая (таблица 1). Поэтому важно проводить различные мероприятия по энергосбережению: энергетический менеджмент, энергоаудит и т.д.

Энергосбережение – одно из важнейших направлений рационального использования ТЭР. Для того, чтобы оно было эффективным на предприятии проводится энергоменеджмент – мероприятия по уменьшению и оптимизации затрат на энергоресурсы [1].

В таблице 1 представлена энергоёмкость ВВП по составляющим.

Таблица 1 – Энергоёмкость ВВП по составляющим, кг у.т./млн. руб. (ВВП в ценах 2005 года)

Показатель	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Энергоёмкость ВВП	423,8	369,9	374,5	376,1	380,5	371,8
Энергетическая составляющая	287,3	255,1	265,4	265,3	265,3	258,5
Неэнергетическая составляющая	136,5	114,8	109,1	110,8	115,2	113,3

Исходя из данных таблицы 1 можно увидеть, что энергетика составляет огромную часть ВВП (около 70% ежегодно). Именно поэтому важно проводить энергетический менеджмент и снижать показатели энергетической составляющей в ВВП.

Для начала проведения энергетического менеджмента руководство должно принять решение о том, что мероприятия по энергосбережению должны проводиться системно и по всему предприятию. Но не только руководители, а также и подчиненные должны быть заинтересованы в увеличении энергоэффективности. Для этого проводится обучение и различные беседы по данной теме.

Для успешного проведения энергетического менеджмента следует пройти через несколько этапов. И по окончании всех стадий надо повторить энергоменеджмент ещё и ещё.

Этапы проведения энергетического менеджмента приведены на рисунке 1.

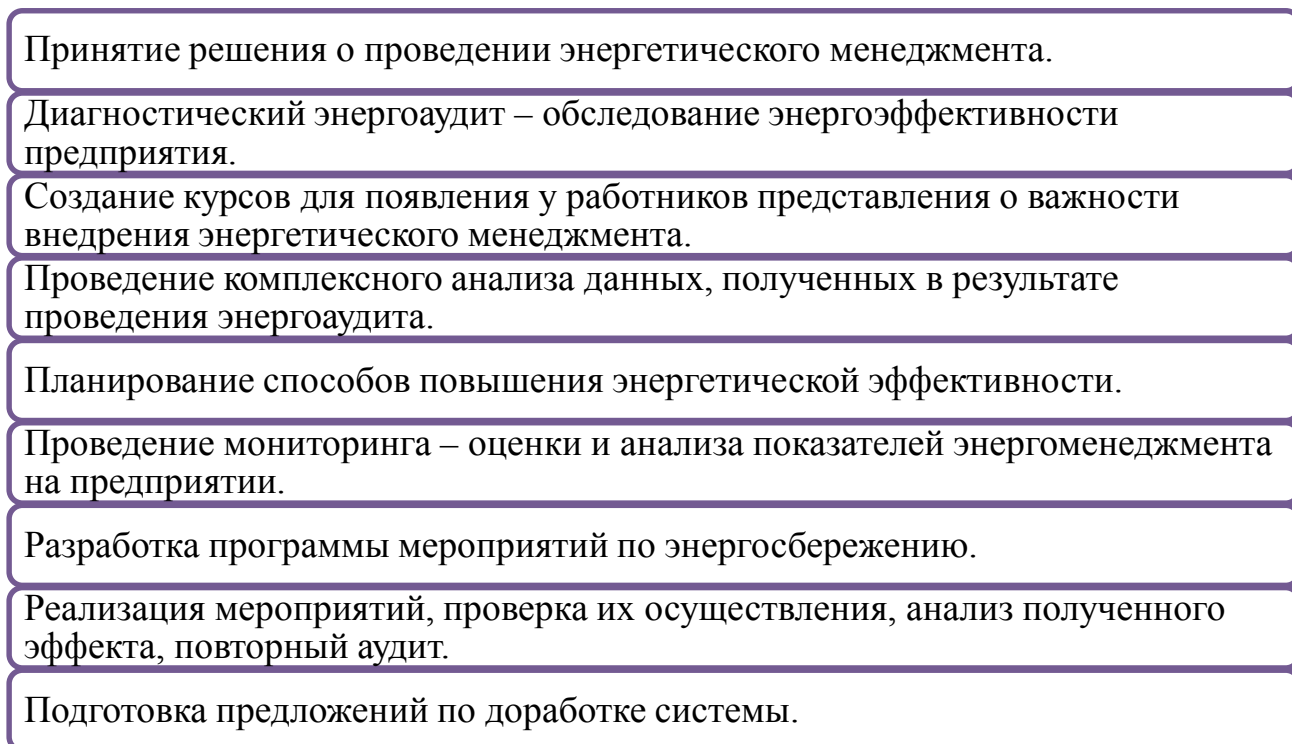


Рисунок 1 – Этапы проведения энергетического менеджмента предприятия

Одним из важнейших этапов является диагностический аудит – обследование предприятия для разработки мероприятий по снижению затрат.

В зависимости от величины предприятия срок проведения аудита колеблется от 2 до 12 месяцев. По его окончанию составляется отчет с описанием предприятия, его оборудованием, мероприятий для повышения энергоэффективности и рекомендаций по уменьшению затрат [2].

Цели энергетического аудита представлены на рисунке 2.

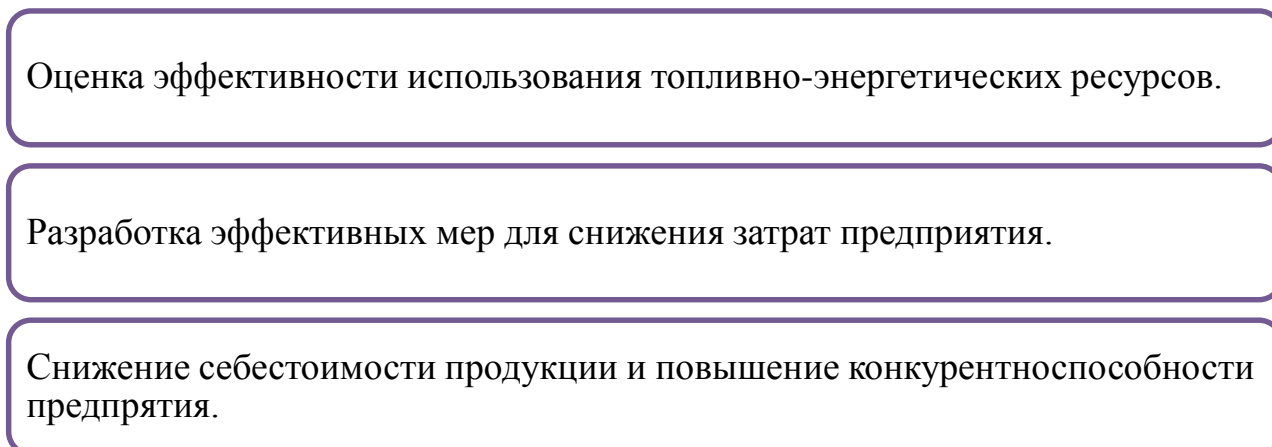


Рисунок 2 – Цели энергетического аудита

Далее рассмотрим перспективы повышения энергоэффективности в торфяной промышленности. Одним из наиболее перспективных способов снижения энергоемкости является производство собственных ТЭР. В Республике Беларусь главными источниками формирования топливно-

энергетических ресурсов являются нефть и торф. Для большей наглядности приведем таблицу 2.

Таблица 2 – Производство собственных ТЭР, тыс. тонн у.т. (в угольном эквиваленте)

Показатель	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Производство (добыча)	5766	5143	5270	5665	5964	6261
торф топливный	823	340	495	654	789	767
нефть	2431	2352	2352	2360	2388	2417
газ природный попутный	351	371	355	338	348	360
возобновляемые энергетические ресурсы	2114	2028	2023	2271	2394	2689
невозобновляемые отходы	47	52	45	42	45	28

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что за последние 5 лет произошло наращивание объемов добычи торфа: с 340 тонн в 2015 году до 767 в 2019. Это случилось благодаря тому, что сейчас в Республике Беларусь действуют различные государственные программы, информирующие о рациональном использовании ресурсов. В торфяной промышленности – это программа «Торф» на 2017-2020 годы. Ее целью является диверсификация топливно-энергетического баланса, а также увеличение направлений применения торфяной нетопливной продукции, увеличение объемов ее производства и реализации. Беларусь имеет большой потенциал производства торфа, который широко распространен на ее территории (заторфованность около 14%). Наращивание объемов его добычи позволит сократить потребление дорогостоящего топлива, такого как газ или мазут. В таблице 3 и на рисунке 3 приведены баланс и динамика потребления торфа, соответственно.

Таблица 3 – Баланс торфа топливного, тыс. тонн

Показатель	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Производство (добыча)	2352	1000	1457	2034	2354	2269
Изменение запасов (+,-)	+159	+364	+399	+39	-141	-205
Потреблено в Республике Беларусь	2511	1364	1856	2073	2213	2064
израсходовано организациями республики	2508	1364	1856	2073	2213	2062
отпущено населению	3	0,4	0,4	0,2	0,3	2

Из таблицы 2 можно увидеть, что объем производства топлива почти не изменился с 2010 года. Но с 2015 года производство увеличилось на 1269 тысяч тонн. В 2019 году можно заметить отрицательное значение изменения запасов, что связано с недостаточным объемом добычи торфа.



Рисунок 3 – Динамика потребления торфа топливного, млн тонн

Анализируя таблицу 3 и рисунок 3 можно отметить, что потребление торфа стало увеличиваться с 2015 года. Большую долю составляет энергетическая часть. Заметим, что неэнергетическое использование в 2019 году на 1,13 миллионов тонн превышает энергетическое использование [3].

Повышению энергетической эффективности содействуют проведение энергоменеджмента и энергоаудита, а также увеличение использования собственных ТЭР. Одной из наиболее перспективных областей является торфяная промышленность, на примере которой и были рассмотрены возможности увеличения энергоэффективности.

Литература

1. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г., Кузьмина Е.В. Эффективность использования электрической энергии // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1(1). – С. 481–485.
2. Самосюк, Н. А. Внедрение энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Республики Беларусь / Н. А. Самосюк, Е. П. Чиж // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 1 (21). – С. 49-76.
3. Энергетический баланс Республики Беларусь. Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева (пред.редкол.) и др. – Минск, 2020. – 152 с.